

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
MÁSTER DE GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS
EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CURSO 2018 / 2019



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y GEOCIENCIAS.
UNA REVISION BIBLIOGRÁFICA**

Tutor: Orlando Jorge Castellano Benítez

Presentado por: Lady Yanira González Barrero
Septiembre de 2020.

Dedicatoria

A mi esposo e hija, a mis hermanas, sobrino y padres, que siempre me han apoyado,
motivado a seguir adelante a pesar de las dificultades.

Agradecimientos

Gracias a los docentes del Máster en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura por compartir sus conocimientos y experiencias, a mi tutor Orlando Jorge Castellano Benítez por sus valiosos aportes y orientación en la realización de este trabajo y a la Universidad de Salamanca por permitirme cursar los estudios del Máster.

Tabla de Contenidos

| | |
|--|----|
| Introducción | 6 |
| Objetivos | 8 |
| General | 8 |
| Específicos | 8 |
| Metodología | 9 |
| Criterios de búsqueda empleados..... | 11 |
| Criterios de inclusión y exclusión..... | 11 |
| Resultados y Discusión | 13 |
| Geociencias para grandes áreas | 14 |
| Sensores Web Geoespaciales (GSW). | 19 |
| Aprendizaje Automático (ML). | 36 |
| Big Data. | 40 |
| Geociencias para áreas pequeñas o puntuales..... | 45 |
| Conclusiones | 56 |
| Bibliografía | 58 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Artículos seleccionados en el estudio, así como los temas que tratan y el año de publicación..... | 15 |
| Tabla 2. Estimación del uso de las palabras clave Fuente: Propia..... | 16 |
| Tabla 3. Comparación entre prototipos típicos de GSW | 23 |
| Tabla 4. Comparación entre TaskML y SensorML | 30 |
| Tabla 5. Relación de métodos ML y su aplicación en Geociencias..... | 38 |
| Tabla 6. Artículos seleccionados en el estudio, así como los temas que tratan y el año de publicación para áreas pequeñas o puntuales..... | 46 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Diagrama de flujo donde se representa esquemáticamente el proceso de selección de los documentos analizados..... | 9 |
| Figura 2. Clasificación de la literatura encontrada | 13 |
| Figura 3. Evolución del paradigma de investigación en Geociencias | 17 |
| Figura 4. Características de GSW | 20 |
| Figura 5. Un flujo de trabajo científico para la extracción parámetros de calidad del agua de imágenes de teledetección..... | 27 |
| Figura 6. Flujos de tareas rutinaria y de emergencia. | 29 |
| Figura 7. Diseño para el monitoreo del AQI..... | 32 |
| Figura 8. Información de AQI visualizados como puntos e intervalos de tiempo en la Plataforma del Servicio de Sensor Web..... | 33 |
| Figura 9. Mapeo de la humedad del suelo basado en datos de observación en tiempo real. | 35 |

Introducción

Con el presente trabajo, se realizará una revisión bibliográfica que permita examinar la información disponible sobre las aplicaciones y herramientas en el campo de la Geociencias las cuales aporten soluciones en la detección, prevención, seguimiento y/o modelación de eventos y agentes contaminantes del medio ambiente. Para ello se abordará una búsqueda sistémica de los últimos cinco años, que contenga información actualizada novedosa y que describa los avances más importantes durante este periodo.

De la misma manera se pretende establecer la incidencia y el manejo que tienen estas herramientas en la extracción de datos fundamentales para identificar agentes contaminantes, zonas de alteración ambiental y consecuencias en los ecosistemas a fin de encontrar acciones que mitiguen y/o adapten prácticas que mejoren las condiciones del hábitat del ser humano.

La estructura de este documento está conformada de la siguiente manera;

En primer lugar, aparece la metodología, donde se presentan los criterios de selección y búsqueda del material bibliográfico, describiendo las bases de datos utilizadas, las palabras claves, los criterios de selección inclusión y exclusión, terminando con el diagrama de flujo que describe los pasos mencionados.

En segundo lugar, se describen los resultados de la búsqueda y selección de los artículos, así como su clasificación, que para el presente trabajo se determinó así, los que aplican a grandes áreas como; Sistemas de Información Geográfica (SIG), Sensores Remotos (SR),

Big Data, Machine Learning (ML) y Sensores Web Geoespaciales (SGW); y los que se aplican en áreas pequeñas o casos puntuales como; Biosensores, Nariz electrónica, Ciencia ciudadana y vehículos aéreos no tripulados comúnmente conocido como drones.

En seguida, se presenta el análisis y los argumentos de cada uno de los elementos bibliográficos seleccionados, así como las apreciaciones de los desarrollos tecnológicos de la Geociencias y su incidencia e importancia en el campo de los estudios de contaminación ambiental. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo. Es importante mencionar que, en el proceso de análisis y selección de la información, el autor enfrenta una continua toma de decisiones las cuales constituyen en sí mismas la selección y exclusión de información que imprime un curso y dirección de argumento personal.

Objetivos

General

Realizar una revisión bibliográfica orientada a compilar, seleccionar y analizar críticamente la información disponible más relevante sobre las aplicaciones y herramientas en el campo de las Geociencias (fundamentalmente SIG y Teledetección) que estén directamente relacionadas con el cuidado y la preservación del medio ambiente.

Específicos

- Orientar la búsqueda de información sobre aplicaciones relacionadas con la contaminación ambiental y las Geociencias.
- Profundizar en la obtención de información sobre metodologías que permitan monitorear la evolución de daños medioambientales, así como de aquellas que ayuden a evitarlos y revertirlos.
- Identificar los avances en las principales técnicas, herramientas o aplicaciones que han aportado para la identificación, monitoreo y seguimiento de la contaminación ambiental en los últimos 5 años.
- Realizar un análisis de las tendencias actuales en el campo de las Geociencias e identificar los posibles desafíos en cuanto al desarrollo e implementación en el futuro.

Metodología

A continuación, se presenta el diagrama de flujo en el cual se ilustra el proceso de selección de los documentos analizados:

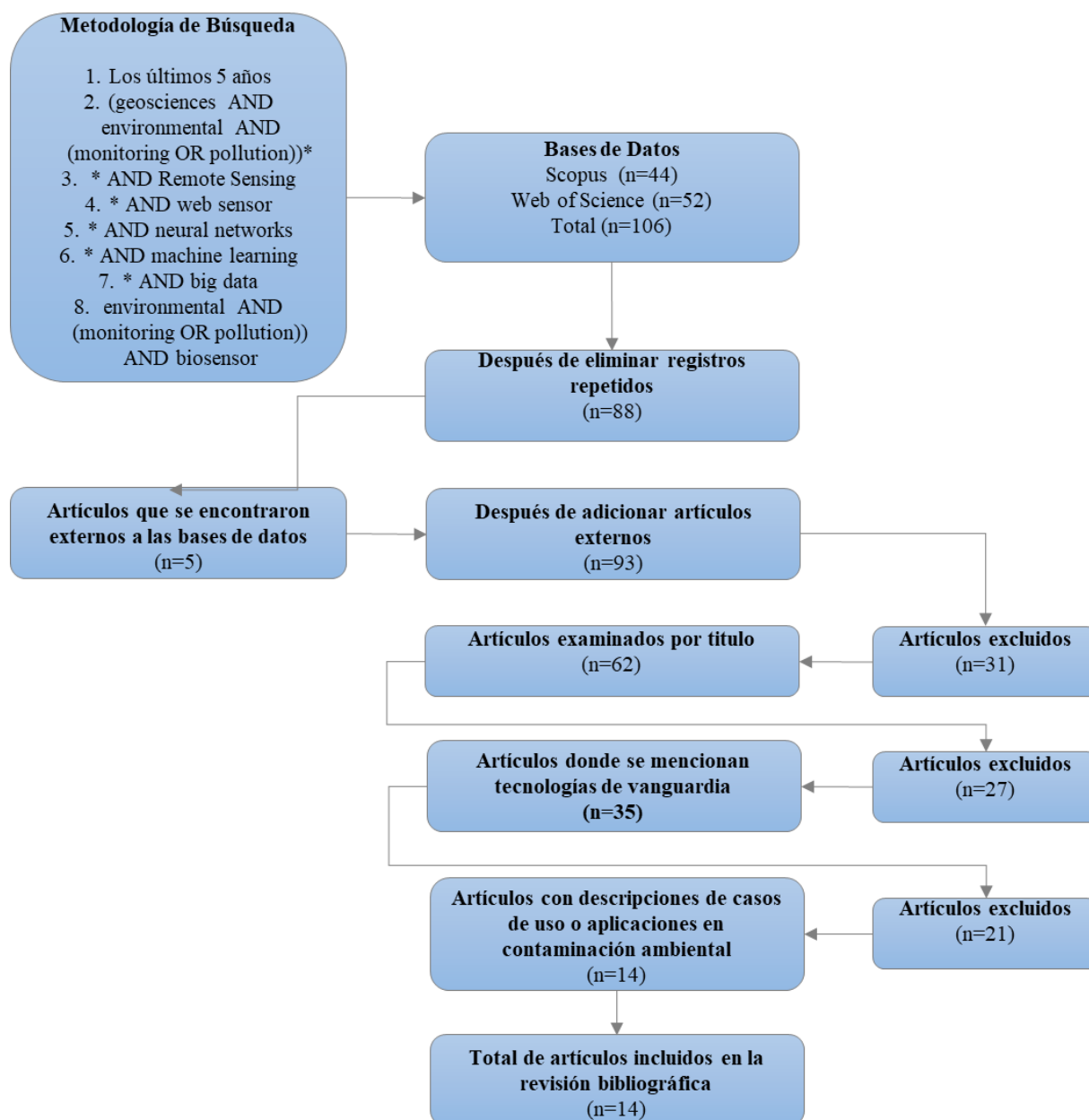


Figura 1. Diagrama de flujo donde se representa esquemáticamente el proceso de selección de los documentos analizados.

Para el presente trabajo se realizó una revisión bibliográfica sistemática, sobre los métodos y herramientas del área de las Geociencias y su aplicación directa al campo de la contaminación ambiental. Para ello, se definió un periodo de búsqueda de enero del 2015 a julio del 2020, es decir, en el periodo comprendido de los últimos 5 años, la razón de dicha selección obedece entre otras; al deseo de revisar los estudios más novedosos, caracterizados por el gran avance y desarrollo tecnológico, de la misma manera se buscó filtrar la cantidad de documentos ya que son muchos los estudios desarrollados en los últimos años en esta área.

Las bases de datos que se utilizaron fueron las integrada en *Scopus*, una base de datos de referencias bibliográficas y citas de la empresa Elsevier, de literatura peer review y contenido web de calidad, con herramientas para el seguimiento análisis y visualización de la investigación *Web of Science (WOS)*, propiedad de la empresa *Clarivate Analytics*, es la colección de bases de datos de referencias bibliográficas y citas de publicaciones periódicas que recogen información desde 1900 a la actualidad. La WOS está compuesta por la colección básica *Core Collection* que abarca los índices de Ciencias, Ciencias Sociales y Artes y Humanidades, además de los *Proceedings* tanto de Ciencias como de Ciencias Sociales y Humanidades junto con las herramientas para análisis y evaluación, como son el *Journal Citation Report* y *Essential Science Indicators*. Adicionalmente, cuenta con las bases de datos que la complementan incluidas en la licencia para España: Medline, Scielo y Korean Citation Index. También y en menor medida, se procesaron artículos incluidos en LinkedIn y Google Academic.

Criterios de búsqueda empleados.

Para la revisión se han aceptado artículos, documentos y libros, los cuales en su totalidad están directamente relacionados con la temática de estudio y que cumplen con los criterios de búsqueda definidos. La búsqueda está enfocada en aquellos documentos que presentan métodos, herramientas o tecnologías de vanguardia en el campo de las Geociencias con el fin de identificar, monitorear y hacer seguimiento a la contaminación ambiental.

Las palabras claves utilizadas para la búsqueda son las siguientes: *Geosciences, environmental pollution, environmental monitoring, remote sensing, machine learning, neural network, big data, web sensor y biosensor*. Para la combinación de dichas palabras se utilizaron los operadores como; “AND” con el propósito de refinar mejor la búsqueda y de esta manera obtener artículos más específicos, de la misma manera se utilizó el operador “OR” para relacionar palabras que su significado es similar, esto con el fin de no excluir artículos que puedan tener términos similares.

Criterios de inclusión y exclusión.

Los criterios para la inclusión de artículos fueron los siguientes:

- Artículos, libros y revisiones sistematizadas publicados entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de julio de 2020.
- Aquellos documentos que utilizan o proponen métodos y/o herramientas, así como aquellos que aportan información novedosa y que más contribuya para la detección, seguimiento y monitoreo de la contaminación ambiental, en el campo de las Geociencias.

- Artículos en los que, aunque no mencionan la palabra Geociencias, utilizan herramientas de detección a distancias para la identificación de contaminantes en diferentes medios como el agua, suelo o aire.
- Artículos en los que se utilizan técnicas relacionadas con Inteligencia Artificial (AI) por sus siglas en inglés como es el caso del Machine Learning (ML), Neural Networks (ANNs) o Big Data.
- De los artículos seleccionados sobre biosensores se dio prioridad a aquellos en los que mencionan aplicaciones relacionadas con Geociencias, como lo es el uso de drones.
- Se ha dado prioridad a los libros y artículos de revisión donde se describe de manera clara la metodología de implementación de la técnica y los resultados.
- Documentos publicados en idioma inglés y español.

Se han excluido aquellos documentos que:

- Traten solo uno de los dos temas principales, contaminación ambiental o Geociencias.
- En el título y en el resumen no se mencione al menos una de las palabras claves.
- Los artículos que no presentan descripción de casos de uso o aplicaciones relacionados con la contaminación o monitoreo ambiental.
- Se están publicados en otros idiomas que no sean inglés y español.

Resultados y Discusión

Como resultado de esta revisión sistemática de literatura se seleccionaron 14 artículos, los cuales para mejor revisión y análisis se pueden clasificar en dos áreas generales a saber; aquellos en los que las técnicas, herramientas o aplicaciones se emplean en áreas grandes o de un nivel global y aquellos donde los estudios son aplicados en áreas locales o regionales, de esta manera se describen las tecnologías y aplicaciones más novedosas en el campo de las Geociencias (SIG y teledetección) y que aportan a la detección, prevención y seguimiento de eventos relacionados con la contaminación ambiental.

En el siguiente esquema se describe como se aborda la clasificación de la literatura encontrada:

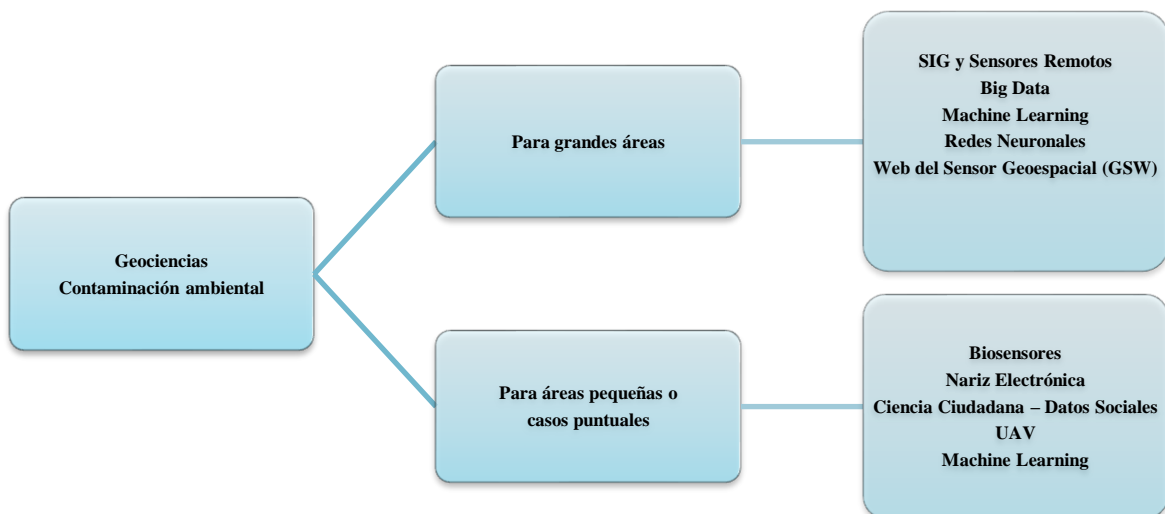


Figura 2. Clasificación de la literatura encontrada

Geociencias para grandes áreas

En la siguiente tabla, se relacionan los artículos seleccionados, los temas de estudio y el año de publicación.

| No | TITULO | TEMA | AUTOR | AÑO DE PUBLICACIÓN |
|----|---|---|---|--------------------|
| 1 | Machine learning in geosciences and remote sensing(Lary et al., 2016) | Aprendizaje Automático (ML) identificación de fuentes globales de polvo | David J. Lary, Amir H. Alavi, Amir H. Gandomi | 2016 |
| 2 | Earth observation big data for climate change research(Guo et al., 2015) | Big Data de observación de la tierra para el cambio climático | GUO Hua-Dong, ZHANG Li, ZHU Lan-Wei | 2015 |
| 3 | The challenges of a Big Data Earth (Boulton, 2018) | Big Data de observación de la tierra para la sostenibilidad planetaria | Geoffrey Boulton | 2018 |
| 4 | Sensor Web Event Detection And Geoprocessing Over Big Data(Yue et al., 2014) | Big Data y Sensor Web datos sociales para el caso de la minería y la niebla | Peng Yue, Chenxiao Zhang, Mingda Zhang, Liangcun Jiang | 2014 |
| 5 | Geospatial sensor web: A cyber-physical infrastructure for geoscience research and application (Zhang et al., 2018) | Sensor Web Geoespacial paradigma de investigación en Geociencias para análisis ambientales, hidrológicos y de desastres naturales | Xiang Zhang, Nengcheng Chen, Zeqiang Chen, Lixin Wu, Xia Li, Liangpei Zhang, Liping Di, Jianya Gong, Deren Li | 2018 |
| 6 | A geoprocessing workflow system for environmental monitoring and integrated modelling(Yue, Zhang, et al., 2015) | Servicios Web de datos y procesamiento para el monitoreo ambiental y el modelado integrado. | Peng Yue, Mingda Zhang, Zhenyu Tan | 2015 |

| | | | | |
|----|--|--|--|------|
| 7 | Task-oriented Sensor Web data processing for environmental monitoring(Hu et al., 2015) | Sensor Web para el monitoreo ambiental "activo" | Hu, Lei Yue, Peng Zhang, Mingda Gong, Jianya Jiang, Liangcun Zhang, Xining | 2015 |
| 8 | Real-time GIS data model and sensor web service platform for environmental data management (Gong et al., 2015) | SIG en tiempo real Servicios de Sensores Web para gestión de datos ambientales | Jianya Gong, Jing Geng, Zeqiang Chen | 2015 |
| 9 | Machine Learning of Mineralization-Related Geochemical Anomalies: A Review of Potential Methods (Zuo, n.d.) | Inteligencia artificial y Aprendizaje Automático para contaminación ambiental | Renguang Zuo | 2017 |
| 10 | The Changing Paradigm of Air Pollution Monitoring (Snyder et al., 2013) | Paradigma sensores portátiles y bajo costo para el monitoreo ambiental | Emily G. Snyder, Timothy H. Watkins, Paul A. Solomon, Eben D. Thoma, Ronald W. Williams, Gayle S. W. Hagler, David Shelow, David A. Hindin, Vasu J. Kilaru, and Peter W. Preuss | 2013 |

Tabla 1. Artículos seleccionados en el estudio, así como los temas que tratan y el año de publicación.

Las técnicas actualmente utilizadas para la detección, monitoreo o seguimiento de la contaminación ambiental se emplean de manera diferente y se resumen de la siguiente manera:

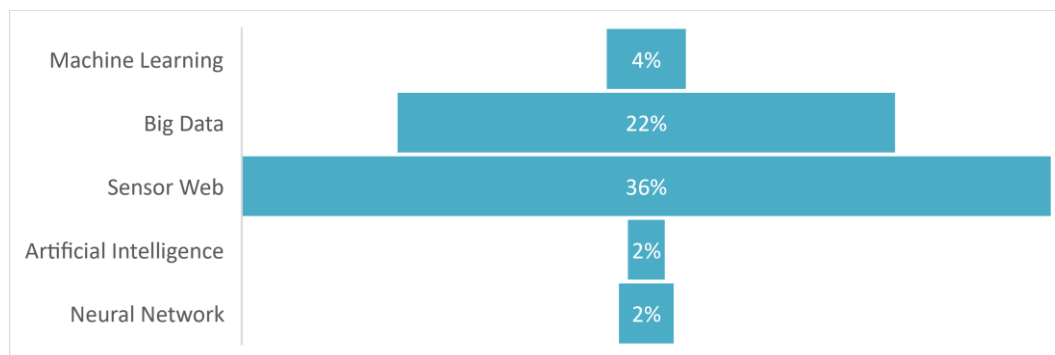


Tabla 2. Estimación del uso de las palabras clave Fuente: Propia

Se puede observar que las palabras más utilizadas son Big Data y Sensor Web, con un 36% y 22% de uso respectivamente. Lo puede ser indicador mayores estudios y desarrollos uso de éstas en el campo de las Geociencias.

A continuación, se describen y analizan, las técnicas y herramientas en el campo de las Geociencias para la detección y monitoreo de la contaminación ambiental encontradas en la revisión bibliográfica realizada.

El desarrollo que ha tenido la investigación en el campo de las Geociencias ha sido propiciado en parte por el vertiginoso avance experimentado por las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en los últimos años. Para conocer un poco sobre el desarrollo que ha tenido la investigación en Geociencias es necesario identificar la evolución de los paradigmas sobre el tema, tal como describe Zhang et al. donde se describe la evolución de dichos paradigmas (Fig. 3) durante las últimas décadas (Zhang et al., 2018):

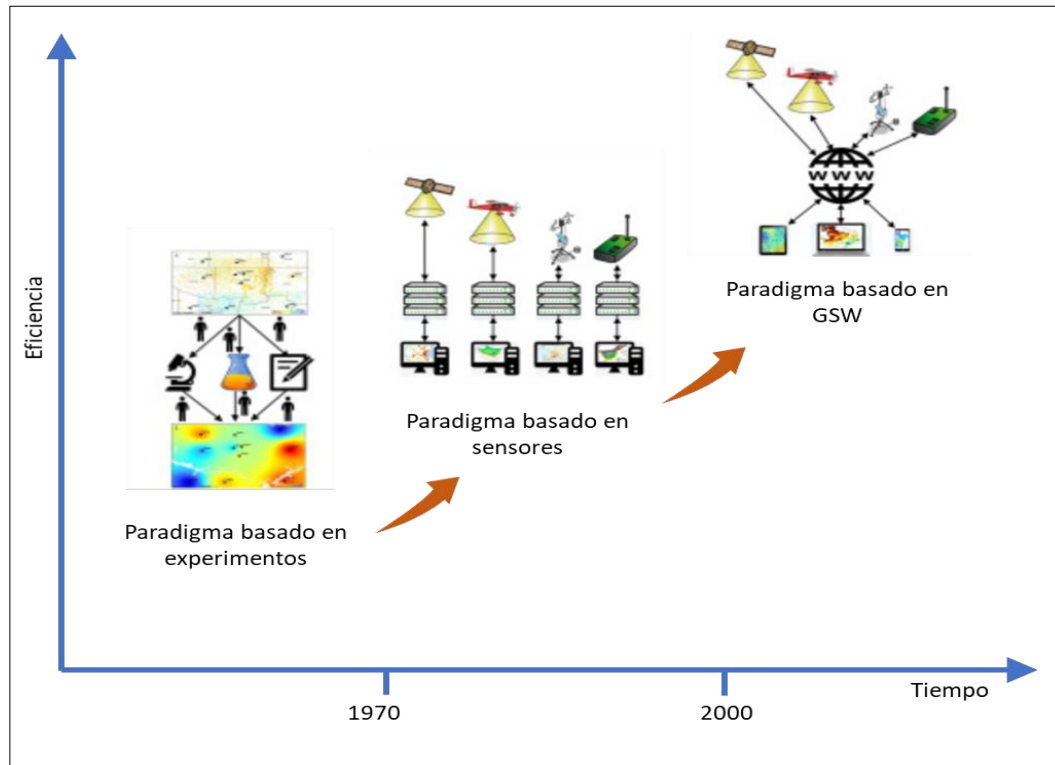


Figura 3. Evolución del paradigma de investigación en Geociencias

Fuente: Adaptado de Zhang et al.,

El primer paradigma basado en experimentos se desarrolló antes de 1970, que consistía básicamente en el muestreo y registro de información en campo, en una ubicación representativa seleccionada por geocientíficos, posteriormente estos datos se llevaban a un laboratorio para realizar el análisis y registro y finalmente, se mostraban los resultados en documentos o mapas. El segundo paradigma basado en sensores, se desarrolló desde 1970 hasta el año 2000 aproximadamente y se produjo gracias al desarrollo de la tecnología en el campo de la informática y la electrónica, lo que generó una renovación de sensores, computadoras y redes, permitiendo que las mediciones se realizaran mediante el uso de sensores de forma automática, la medición y obtención de información de grandes áreas

mediante el uso de la teledetección por satélite y el aumento en la capacidad de procesamiento y almacenamiento de grandes cantidades de datos de manera eficiente.

Por último el paradigma basado en Sensores Web Geoespaciales (GSW), el cual tiene como principales precursores el concepto de Tierra Digital visión propuesta por el vicepresidente de los Estados Unidos en 1998, posteriormente los geocientíficos introdujeron los servicios web geoespaciales abiertos para el campo de la investigación y motivados por la necesidad de geo análisis en línea, el intercambio de datos e interoperabilidad de funciones donde se implementaron proyectos como Giovanni o Centro de Servicios de Información y Datos de Goddard Earth Sciences (GES DISC) por sus siglas en inglés por nombrar algunos. Más adelante La Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) en 1999, introdujo el concepto de Red de Sensores (*NASA Technical Reports Server (NTRS)*, 1999) , el cual consiste en un sistema de módulos de sensores distribuidos espacialmente que se comunican entre sí, para monitorear y explorar nuevos entornos; el principal aporte de esta tecnología es el intercambio global de información que permite una asociación entre sensores y es en este punto donde se diferencia de los sensores tradicionales. Un último concepto antes de mencionar el paradigma basado en GSW es la geografía en vivo, la cual permite las observaciones en tiempo real o casi real y el procesamiento instantáneo utilizando una infraestructura abierta basada en estándares (Resch et al., 2009). El paradigma basado en GSW, consiste en una red de sensores de etapa avanzada y posee una mayor capacidad de procesamiento de datos y servicios (Di et al., 2010), a continuación, se describe con mayor detalle el concepto y aplicaciones de GSW.

Sensores Web Geoespaciales (GSW).

De acuerdo con Zhang et al. en el documento “*Geospatial sensor web: A cyber-physical infrastructure for geoscience research and application*” (Zhang et al., 2018), los Sensores Web Geoespaciales “consisten en red de sensores de etapa avanzada y que sirve como una infraestructura ciber-física de información espacio temporal para la geociencia en la World Wide Web (WWW)”. Gracias a los avances en las dos últimas décadas en la investigación en las Geociencias, se ha creado la necesidad de contar con una infraestructura capaz de enfrentar los desafíos para el procesamiento de datos y los servicios de información (Zhang et al., 2018). Los GSW se han convertido en una infraestructura revolucionaria en este campo los cuales permiten:

- La gestión integrada y compatible de diversos recursos de detección
- La obtención de datos en tiempo real o casi real y datos espaciotemporales continuos
- Realizar el procesamiento y análisis de datos interoperable y en línea
- Proporcionar servicios focalizados con información y conocimiento sobre las Geociencias basados en la web

Quizá una de las tecnologías que ha tenido mayores avances en el campo de las Geociencias han sido los GSW, esto se debe a la gran cantidad de ventajas que presenta tanto para el acceso a la información (grandes áreas y en tiempo real / casi real), como para el procesamiento y análisis en línea.

De acuerdo con Zhang et al., en la etapa actual, GSW aprovecha las ventajas de los sensores de detección, los avances en computación y los servicios de la tierra, presentado las siguientes características (Zhang et al., 2018):

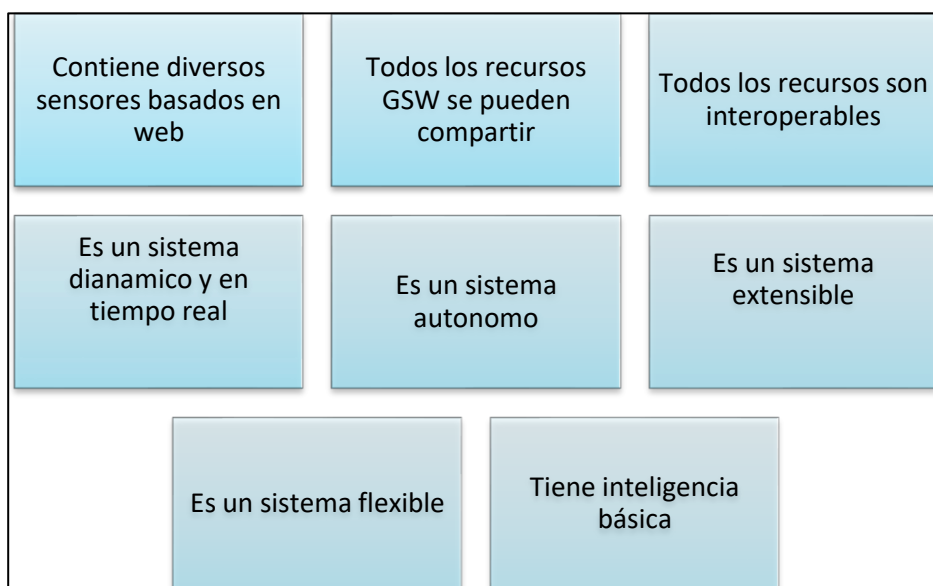


Figura 4. Características de GSW

Zhang et al., revisaron cuatro métodos clave en GSW, que proporcionan una solución completa para la recopilación, procesamiento, gestión y servicio de los datos, lo cuales se describen brevemente a continuación (Zhang et al., 2018):

- Gestión integrada de recursos de detección de diferentes fuentes: Las principales fuentes de datos directas para la investigación son recursos de detección de sensores que pueden ser orbitales, aéreos, terrestres o marinos, también pueden ser móviles o fijos; o incluso pueden ser virtuales como lo describe Chen et al., por tanto sin una adecuada gestión de estos sensores no sería posible la utilización de información de manera eficiente y adecuada (Z. Chen et al., 2011).

- Observación colaborativa basada en múltiples plataformas: Normalmente para la realización de estudios relacionados con las ciencias de la tierra o eventos de contaminación ambiental es necesaria la utilización de múltiples observaciones de sensores, lo que implica la configuración de múltiples parámetros en un mismo modelo, al igual cuando se realizan estudios de largos periodos de tiempo o análisis de eventos complejos, sin embargo, hace falta colaboración durante la captura de datos o solo es posible la utilización de datos de sensores archivados. Ahora con la implementación de GSW es posible evaluar la capacidad de los sensores satelitales, antes de realizar las operaciones de colaboración, esto permite realizar una planificación avanzada, con el fin de realizar una observación colaborativa. Ejemplos de estos experimentos de observación colaborativa en GSW son descritos por Lacava et al., quienes realizan la combinación de datos de los satélites MODIS y RADARSAT para la detección instantánea de inundaciones y servicios en tiempo real (Lacava et al., 2015). Al igual en el año 2010, (Howe et al., 2010) menciona una colaboración entre sensores satelitales e in situ para la observación del océano.
- Procesamiento escalable y fusión de datos de múltiples fuentes: Antes de la implementación de GSW, los métodos de fusión estaban dirigidos a un propósito determinado, carecían de unificación lo cual generaba la utilización de características espacio-temporales al mismo tiempo. Con el fin de superar estas limitaciones, Shen et al., propusieron un marco para la fusión de información espacio-temporal-espectral, para obtener imágenes de alta resolución sin

limitación en el número de sensores. El método GSW utiliza el procesamiento web junto con los servicios de Habilidad de Sensor Web (SWE) por sus siglas en inglés para realizar procesamiento automático e interoperable. Una de las herramientas más utilizadas para construir flujos de trabajo de geoprocésamiento es GeoJModelBuilder por Yue, Zhang, et al., en la cual integra sensores interoperables, servicios de geoprocésamiento componentes de modelos compatibles con OpenMI en flujos de trabajo. Así, los sensores, datos, las funciones y modelos de geoprocésamiento se pueden integrar de una manera flexible, reutilizable, interoperable y fácil de usar para el monitoreo ambiental.

- **Servicios web focalizados:** Es una metodología en GSW utilizada para entregar y mostrar la información a los investigadores y a un público específico a través de servicios web inteligentes orientados a objetos (Yue, Baumann, et al., 2015). El primer logro de enfocar los servicios web en una característica activa del servicio GSW, el segundo es el mecanismo de registro y descubrimiento semántico, también se resalta la integración de los servicios GSW con el geo-servicio tradicional
- **Prototipos:** En la Tabla 3 se muestra una comparación entre varios prototipos de GSW, algunos son propuestas iniciales, mientras que otros son un poco más avanzado (Zhang et al., 2018).

| Nombre | Afiliación | Tipo de sensor | Modelo de datos | Modelado | Integrado con GIS | Referencia |
|------------|------------|--|-------------------------------|----------|-------------------|------------------------|
| 52 ° Norte | 52 ° Norte | Sensores satelitales, aéreos e in situ | Cumple con los estándares OGC | Manual | GIS bidimensional | (Bröring et al., 2009) |

| | | | | | | |
|------------------|-----------------------------|--|---|----------------|------------------------------------|---------------------------|
| GeoCENS | Universidad de Calgary | Sensores satelitales, aéreos e in situ | Cumple con los estándares OGC | Manual | GIS bidimensional y tridimensional | (Liang & Huang, 2013) |
| GeoSensor | Universidad de Wuhan | Sensores satelitales, aéreos e in situ | Cumple con los estándares OGC y más extensiones | Semiautomático | GIS bidimensional y tridimensional | (N. Chen et al., 2013) |
| GeoSWIFT | Universidad de York | Sensores satelitales, aéreos e in situ | Cumple con los estándares OGC | Manual | GIS bidimensional y tridimensional | (Liang et al., 2005) |
| NOSA | La Universidad de Melbourne | Sensor simulado | Cumple con los estándares OGC | Manual | GIS bidimensional | (Chu et al., 2006) |
| PULSENet | Northrop Grumman Co. | Sensores satelitales, aéreos e in situ | Cumple con los estándares OGC | Semiautomático | GIS bidimensional y tridimensional | (Fairgrieve et al., 2009) |
| SANY | Unión Europea FP6 | Sensores satelitales, aéreos e in situ | Cumple con los estándares OGC | Manual | GIS bidimensional | (Havlik et al., 2006) |
| Sensapp | SINTEF Noruega | Sensor in situ | Cumple con los estándares OGC | Manual | GIS bidimensional | (Roman et al., 2011) |

Tabla 3. Comparación entre prototipos típicos de GSW

Fuente: Zhang et al.,

Como refiere Zhang et al: “En general, GeoSensor, PULSENet y SANY son tres prototipos de GSW de última generación en la actualidad. Admiten sensores satelitales, aéreos e in situ y utilizan modelos e interfaces estandarizados en la cadena de servicios y para la integración con GIS” (Zhang et al., 2018).

- **Aplicaciones:**

Los servicios GSW se han utilizado para la investigación en diferentes disciplinas de las Geociencias, en las cuales proporciono grandes ventajas comparado con el enfoque tradicional. A continuación, se describen las principales aplicaciones relacionadas con la contaminación ambiental en las cuales se utilizaron los servicios GSW.

En primer lugar Yue et al., 2014 en su *artículo* “Geospatial sensor web: A cyber-physical infrastructure for geoscience research and application ” propone el uso de datos científicos y sociales, mediante un

flujo de trabajo de procesamiento de datos de sensores para la detección del smog en la ciudad de Beijing China. El estudio propone el uso de datos sociales como sensor y fusionarse en el Sensor Event Service (SES) y se utilicen dentro de la Spatial Data Infrastructure (SDI), para complementar el dominio geoespacial, se usó la tecnología de Sensor Web para proporcionar datos geoespaciales en tiempo real o casi real y que permita respaldar la toma de decisiones oportuna, todo enmarcado dentro de los estándares (Sensor Observation Service (SOS), Sensor Planning Service (SPS), Sensor Alert Service (SAS) y Web Notification Service (WNS)), para permitir la interoperabilidad de la web de sensores.

La implementación de estos flujos de trabajo a la vez contribuirá para respaldar el análisis de Big Data para la investigación en Geociencias. Los datos sociales son recopilados través de una API de código abierto de los sitios web de redes sociales, posteriormente, el componente de minería de datos sociales puede filtrar datos mediante consultas específicas, como la cantidad de registros relacionados con el smog, cuando el componente encuentra que el resultado de la minería alcanza el umbral, se enviará una alerta utilizando el middleware SES-WNS de Sensor Web. A continuación, los expertos científicos pueden asignar sensores utilizando SPS para recopilar observaciones. Finalmente, los datos científicos captados por sensores y servicios de geoprocésamiento se integran en flujos de trabajo para realizar análisis científicos. El sistema prototipo se desarrolló ampliando la herramienta de flujo de trabajo existente, GeoJModelBuilder (Yue, Zhang, et al., 2015), y el servicio de geoprocésamiento utilizado son de GeoPW (Yue et al., 2010). El estudio

concluye que la combinación de datos del Sensor Web y la minería de Big Data suministra una nueva perspectiva para la alerta de desastres y la respuesta de emergencias ambientales.

Otro de los artículos analizados “*A geoprocessing workflow system for environmental monitoring and integrated modelling*”, Yue, Zhang, et al., se destaca el concepto de Modelado Ambiental Integrado (IEM), como una disciplina para comprender los sistemas ambientales y cubre aplicaciones sobre ciencias, tecnologías y la comunidad.

El gran avance que han tenido las Infraestructura de Datos Espaciales SDI, el enfoque de “Modelado como servicio” (MaaS) se ha utilizado en los modelos Web integrando capas sobre infraestructura de información ambiental (Nativi et al., 2013), así se implementan diferentes modelos como servicios, accesibles a través de servicios web y ajustados mediante flujos de trabajo orientados a servicios. Estas tecnologías permiten el acceso a modelos, datos y sensores que se encuentran distribuidos a través de los servicios web, y que permitirán dar soporte al monitoreo ambiental y al modelado integrado, Yue, Zhang, et al., presenta el diseño e implementación de la herramienta de flujo de trabajo de geoprocésamiento, GeoJModelBuilder, para ser utilizada en el monitoreo ambiental y el modelado integrado, tal como se ha mencionado en varias partes del presente trabajo, ya que esta herramienta es citada en varios de los artículos analizados. El sistema utiliza los globos virtuales los cuales permiten interactuar al usuario con el IEM en una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) fácil de usar, Yue, Zhang, et al., describe que la “herramienta permite integrar modelos, sensores, recursos computacionales y de datos distribuidos en la Web de forma flexible, reutilizable, interoperable y amigable para el usuario. El resultado

ha sido publicado como software de código abierto e ilustrado en casos sobre monitoreo ambiental y modelado integrado” (Yue, Zhang, et al., 2015). El documento describe el uso de sensores de calidad de agua para medir algunos parámetros como la concentración de clorofila y turbidez, en caso de detectarse una anomalía, el usuario podrá iniciar la recopilación de observaciones por teledetección que cubra toda el área de estudio, procesará los datos basándose en un flujo de procesamiento de las imágenes de observación, a las cuales se les realizan los siguientes procesos: ortorrectificación, calibración radiométrica, corrección atmosférica, recorte, cálculo del Índice de Agua Diferencial Normal (NDWI), construcción de máscaras, inversión de sedimentos y mapeo, para brindar apoyo a la decisión sobre si la problemática detectada se incluye el rango de contaminación.

Para la extracción de parámetros, dichos resultados pueden ser archivados, para generar mapas de calidad de agua a solicitud de los interesados, como se muestra en la Figura 5.

Con la tecnología del Sensor Web, los datos de observaciones *in situ* se envían al centro de datos y se podrá acceder a ellos mediante interfaz SOS para ser comparados automáticamente con el umbral. Adicionalmente el usuario puede ajustar tareas o parámetros de los flujos de trabajo.

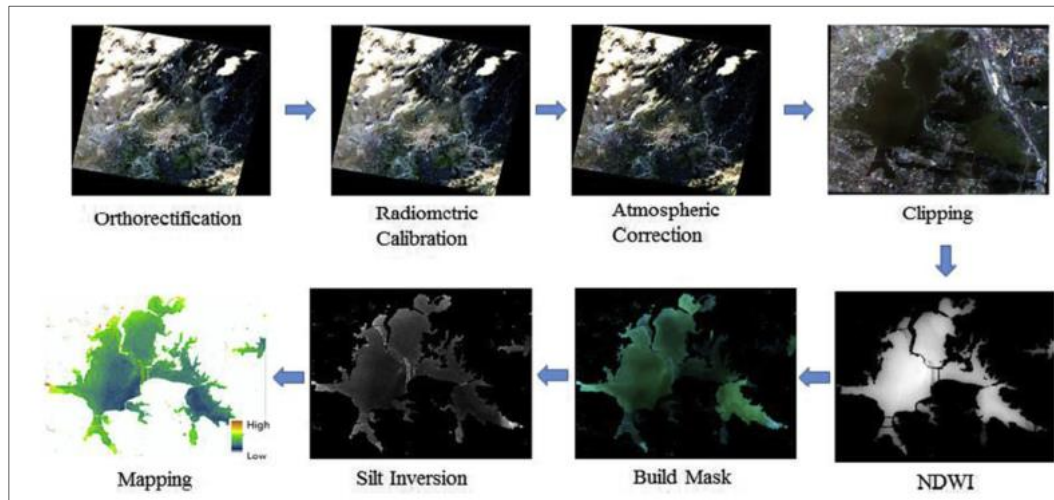


Figura 5. Un flujo de trabajo científico para la extracción parámetros de calidad del agua de imágenes de teledetección.

Fuente: Yue, Zhang, et al.,

En el artículo “*Task-oriented Sensor Web data processing for environmental monitoring*” Hu et al., se describe el uso de Sensores Web OGC y un enfoque orientado a tareas, se aprovechen con flujos de trabajo de geoprocésamiento para respaldar las tareas de monitoreo ambiental, entendiéndose una tarea como “objetivo de alto nivel, que puede expresarse formalmente mediante información comprensible para el ser humano; El usuario logra el objetivo mediante la realización de una secuencia de pasos, cada uno de los cuales puede ser una subtarea” según describen Hu et al. en el mismo artículo estudiado (Hu et al., 2015). En primer lugar, el documento propone un lenguaje de modelado de tareas (TaskML) para formular las solicitudes de los usuarios, para posteriormente implementar un mecanismo de activación de tareas con el fin de conectar los eventos ambientales con el procesamiento utilizando el constructor de modelos GeoJModelBuilder (Yue, Zhang, et al., 2015), estos enfoques permitirán la ejecución “activa” de tareas, además propone un SES ya que se utiliza la Arquitectura dirigida por eventos (EDA), esta implementación permite

que los usuarios puedan suscribirse para recibir observaciones y filtra los datos de los sensores según los criterios de filtrado definidos en las suscripciones. Una vez que se descubre una coincidencia, se envía una notificación al usuario registrado.

Un enfoque basado en tareas (taskML) está orientado al usuario y centra el proceso en los objetivos que el usuario quiere lograr, además con la ayuda de TaskPriority y TaskQoS en TaskML, permite al usuario especificar el orden de las tareas o dar prioridad a algunas de ellas. El caso de uso descrito hace referencia a la evaluación de material particulado PM 2.5 y PM 10 en la atmosfera en la provincia de Jiangsu, China, para lo cual el modelo realiza dos tipos de tareas; la primera de rutina consiste en la obtención de imágenes producto de interpolación del índice de calidad del aire (AQI), y de esta manera comprender la tendencia de variación de las partículas, el modelo realiza la operación realizando una tarea atómica (la cual se puede descomponer en niveles más detallados), que incluye la interpolación y el cálculo del índice de calidad de aire individual (IAQI) basado en PM 2.5 /PM10, como se muestra en la Figura 6a.

La segunda tarea de emergencia es desencadenada al identificarse algunas ubicaciones fuera del umbral, este tipo de tareas requiere de una respuesta de extracción de información de forma oportuna, el fin de detectar la descarga ilegal de contaminantes en el aire. Así, usando las ubicaciones de los eventos, primero se ubican los centros de estos puntos usando la función WeighedMeanCenter, luego se realiza un buffer para verificar las instalaciones que están en el área, este proceso se puede visualizar en la Figura 6b. Aunque los conjuntos de datos y la ubicación de las instalaciones son los mismos en las tareas 1 y 2, a la segunda tarea se puede asignar una prioridad más alta y que esta se ejecute automáticamente cuando

se exceda el umbral establecido. Este tipo de procesamiento de datos de Sensores Web orientado a tareas y los flujos de trabajo de geoprocесamiento para evaluación del monitoreo ambiental ha permitido el acceso y procesamiento de observaciones dinámicas en tiempo real, además la implementación de una interfaz gráfica para el usuario permite al usuario la realización de tareas de forma escalonada y no tiene que realizar descripciones sintácticas muy complicadas para usuarios sin este tipo de conocimiento.

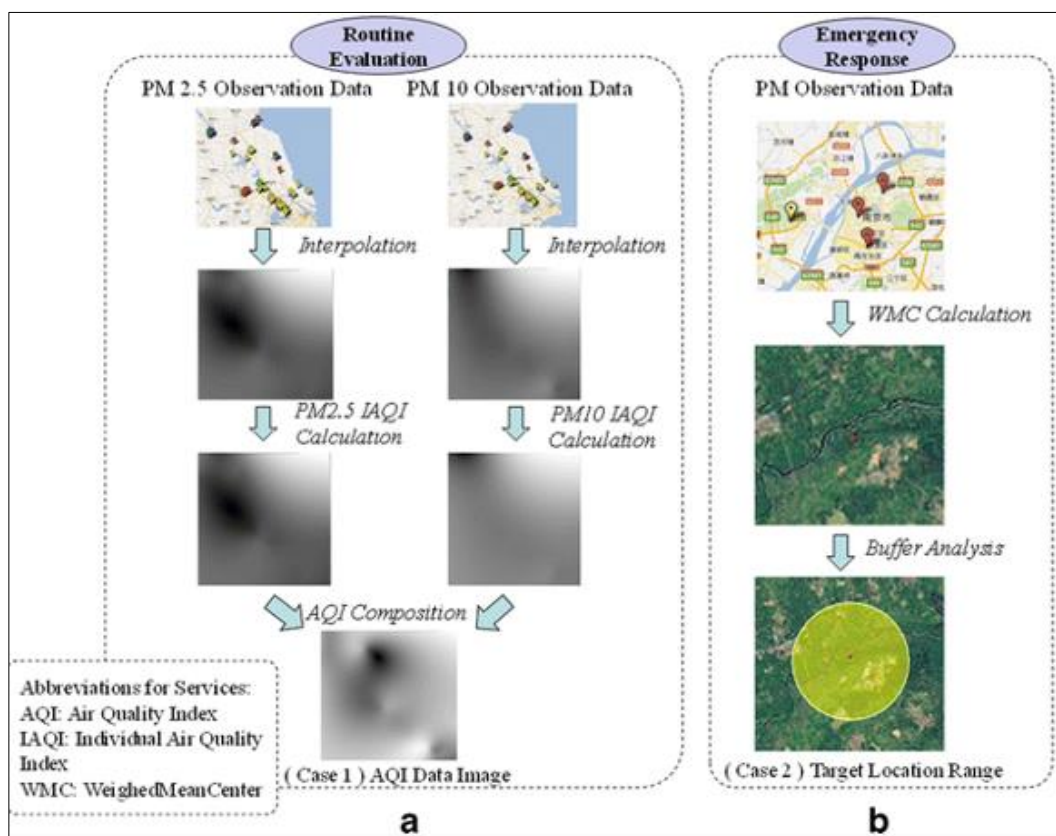


Figura 6. Flujos de tareas rutinaria y de emergencia.

Fuente: Yue, Zhang, et al.,

Los dos últimos documentos analizados hacen referencia al geoprocесamiento con Sensores Web y el constructor de modelos GeoJModelBuilder (Yue, Zhang, et al., 2015), la

diferencia principal entre los dos artículos radica en el uso de diferentes lenguajes, el primero de ellos utiliza SensorML y el segundo TaskML, las diferencias principales se relacionan en la Tabla 4

| TaskML | | SensorML |
|--------------------------|---|--|
| Objeto | Tarea | Sensor |
| Enfoque primario | Descripción de los objetivos que el usuario necesita lograr | Descripción de sistemas de sensores y procesamiento de observaciones de sensores |
| Elementos | TaskModel, TaskProcess, TaskTrigger, TaskPriority, TaskQoS, TaskProperties, TaskType, TaskConstraints | ProcessModel, ProcessMethod, ProcessChain, Component, System, Constraints, Properties, References, History |
| Interoperabilidad | Si | Si |
| Extensibilidad | Si | Si |
| Priorización | Si | No |
| QoS | Si | No |
| Usuarios | Usuarios generales | Diseñado para expertos técnicos |

Tabla 4. Comparación entre TaskML y SensorML

Fuente: Hu et al.,

El último artículo seleccionado relacionado con el tema de Sensores Web Geoespaciales “*Real-time GIS data model and sensor web service platform for environmental data management*” Gong et al., propone un modelo de datos SIG (Sistema de Información Geográfica) en tiempo real y una plataforma de servicios Web de Sensores para la gestión de datos ambientales bajo el marco de Servicios Geoespaciales.

En los últimos años los modelos de datos SIG ha evolucionado de modelos estáticos, luego modelos temporales y por último modelos de datos SIG en tiempo real. El modelo de datos SIG estático gestiona datos espaciales, describe relaciones espaciales y expresa las distribuciones de objetos geoespaciales. El modelo de datos SIG temporal, se basa en el modelo estático y le adiciona información de tiempo, es decir representa las distribuciones

de objetos geográficos y el proceso de cambio de estos objetos con el tiempo, se utilizan principalmente para almacenar grandes cantidades de datos históricos y mantener sus relaciones o para representar objetos que pueden sufrir cambios con el tiempo, este tipo de modelo no es eficaz para almacenar y recuperar datos espaciales en tiempo real. Según (Gong et al., 2015) “Actualmente, el modelo de datos SIG en tiempo real aún se encuentra en una etapa inmadura y necesita más estudio”. Por tanto, el autor propone un modelos de datos SIG en tiempo real, el cual llama “Plataforma de Servicios Web del Sensor con tecnologías Sensor Web” el modelo propuesto en el estudio permite la compilación de datos en tiempo real de varios sensores, representa los datos como objetos geográficos, estados, eventos, procesos, sensores y observaciones, además permite la simulación de procesos espacio-temporales a partir de los datos recopilados y de forma estandarizada implementado los estándares OGC. Para demostrar la aplicación se implementaron dos casos de gestión de datos ambientales para la ciudad de Wuhan, China.

El primer caso realiza el monitoreo del Índice de Calidad del Aire (AQI), mediante el diseño de una plataforma de servicios web de sensores y un SIG en tiempo real, el diseño se puede observar en la Figura 7.

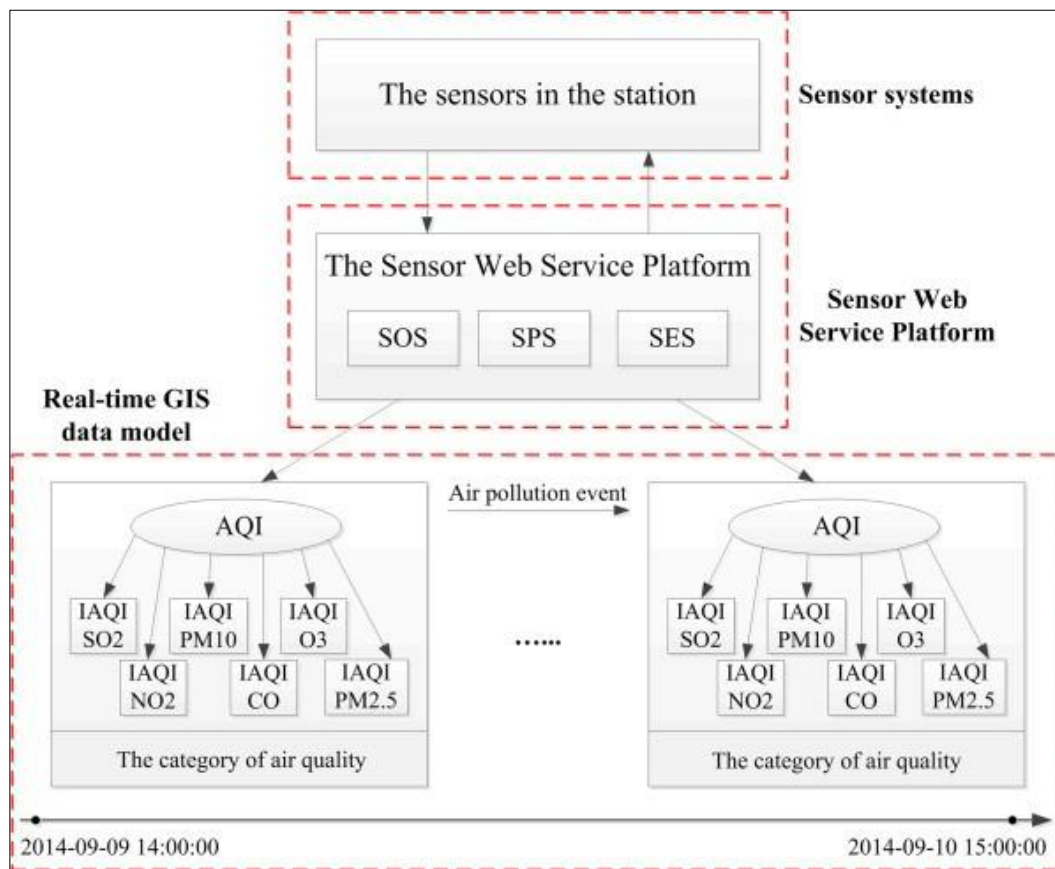


Figura 7. Diseño para el monitoreo del AQI

Fuente: (Gong et al., 2015)

El modelo SIG obtiene los datos del Servicios Web Sensores, provenientes del Centro de Monitoreo Ambiental de Wuhan, para un periodo de 48 horas y obtuvieron registros de SO₂, NO₂, PM₁₀, CO, O₃ y PM_{2.5}, la plataforma recibe registros cada hora, esta información puede ser visualizada para un momento específico de tiempo o también visualizado como una serie de datos en un intervalo de tiempo, como se puede ver en la Figura 8. Una vez realizada la solicitud por el usuario, la información es extraída por el modelo de datos SIG en tiempo real, el tiempo de respuesta es de aproximadamente 2 segundos.



Figura 8. Información de AQI visualizados como puntos e intervalos de tiempo en la Plataforma del Servicio de Sensor Web.

Fuente: Gong et al.,

El segundo caso de estudio permite el monitoreo de la humedad del suelo en tiempo real, este indicador ambiental de gran importancia ya que permite estudiar el cambio climático, debido a que refleja la cantidad de agua que posee el suelo o si por el contrario se presenta una sequía. Para el estudio se construyó una estación de observación automática con cerca de 20 sensores de humedad del suelo en un área experimental de 20 m × 40 m. Los sensores

se desplegaron en planos horizontales con tres profundidades diferentes (10 cm, 30 cm y 60 cm). Estos sensores de humedad del suelo se registran y gestionan en la Plataforma de Servicio de Sensores Web., la plataforma gestiona la información recibida y visualiza los datos en el portal Web.

Dado que los datos obtenidos son discretos, para obtener el nivel de humedad del área de estudio, para obtener el mapa temático de humedad del suelo se realiza un proceso de interpolación (IDW) en línea, el cual puede ser consultado para diferentes periodos de tiempo como se muestra en la Figura 9.

El desarrollo de GSW ha sido de gran importancia para la investigación de las Geociencias, sin embargo, para mejorar aún más sus capacidades es necesaria la integración con otro tipo de tecnologías que proporcionen nuevas capacidades para desarrollar nuevas investigaciones, así como refiere Zhang et al, uno de los desafíos para los próximos años es la integración de modelos web para procesamiento robusto, requiere mayor interoperabilidad de modelos distribuidos interoperables, que permitan la ejecución de procesos sofisticados la predicción de tendencias futuras de las condiciones de la superficie terrestre, aunque se han desarrollado varias tecnologías como Earth Science Markup Language (ESML), Earth System Modeling Framework (ESMF) o NASA Earth Exchange (NEX), aun se requiere mayor colaboración entre la comunidad de GSW y la comunidad de las Geociencias. Aunque se han desarrollado algunos estudios como el ya descrito por Yue et al, los sensores humanos es un nuevo tipo de detección que se está desarrollando y que tendrá un gran avance en el futuro, las tecnologías móviles, las redes sociales y la información geográfica voluntaria, son recursos muy útiles en la detección operada por

humanos; varios son los desafíos en este tema, como la información de observaciones no estructurada, la incertidumbre de las observaciones derivadas el dispositivo utilizados y los problemas de privacidad, son algunos de los aspectos que deben solucionar, con fin de lograr la integración con los GSW (Yue et al., 2014).

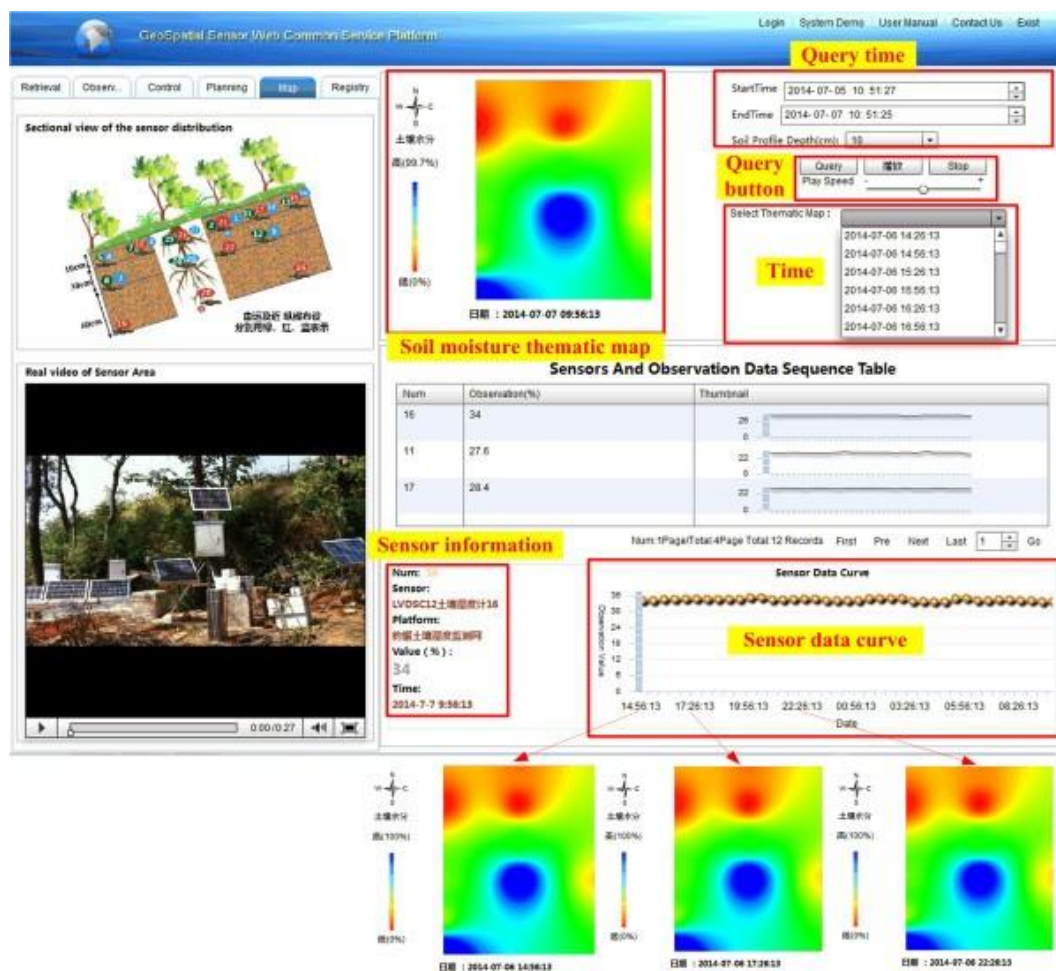


Figura 9. Mapeo de la humedad del suelo basado en datos de observación en tiempo real.
Fuente: Gong et al.,

Aprendizaje Automático (ML).

Según Zuo, “La Inteligencia Artificial (AI) es la ciencia y la ingeniería para fabricar máquinas inteligentes, especialmente programas informáticos inteligentes. Se ocupa de la tarea de utilizar ordenadores para comprender la inteligencia humana, pero la AI no tiene por qué limitarse a métodos que sean biológicamente observables” ahora como subcampo de la AI, la función básica del ML es la utilización de algoritmos para analizar y aprender de los datos con el fin de hacer una predicción, los métodos de ML pueden ser supervisado, semi supervisado, no supervisado y aprendizaje reforzado (Zuo, 2017).

La metodología ML se han utilizado en un gran número de aplicaciones, clasificación, detección de anomalías y reconocimiento de patrones.

Tal como describe Lary, en su documento “*Machine Learning in Geosciences and Remote Sensing*”(Lary et al., 2016), aunque los métodos de ML se han aplicado para la solución de problemáticas en las ciencias y en ingeniería, en las áreas de Geociencias y teledetección su aplicación ha sido bastante nueva y limitada. Por lo que no se ha encontrado un número significativo de estudios relacionados con la aplicación de esta herramienta en las áreas mencionadas y específicamente para el estudio de la contaminación ambiental. Sin embargo en las investigaciones realizadas por los autores citados anteriormente se señalan los algoritmos más utilizados en LM, como son las redes neuronales artificiales (ANN), máquinas de vectores de soporte (SVM), mapa autoorganizado (SOM), árboles de decisión (DT), algoritmo genético (GA), entre otros, de igual forma menciona la utilización de los algoritmos de Programación Genética (GP) que resulta ser una especialización del GA en varios estudios sobre contaminación ambiental, como el seguimiento de la calidad del agua

de embalses mediante imágenes de teledetección (L. Chen, 2003) y el mapeo de depósitos de metales base (Lewkowski et al., 2010).

Adicional a estos trabajos, Boulton señala en *“The challenges of a Big Data Earth”* (Boulton, 2018) la utilización del ML para el estudio de grandes datos obtenidos a partir de un “microscopio digital” que permite ver patrones que no se han visto antes, con lo cual es posible crear predicciones del comportamiento de sistemas humanos y no humanos, y que a su vez permitirá la comprensión y las acciones necesarias para trabajar hacia la sostenibilidad planetaria, entendiendo que el hombre es el principal causante de uso excesivo de los recursos naturales (Boulton, 2018).

En Zuo “Machine Learning of Mineralization-Related Geochemical Anomalies: A Review of Potential Methods” (Zuo, 2017), presenta una revisión sobre las diferentes técnicas en el campo del procesamiento de datos geoquímicos; se destacan los diferentes métodos ML aplicados para modelar la distribución geoquímica multivariada compleja y extraer asociaciones elementales significativas relacionadas con la mineralización o la contaminación ambiental. Estos métodos son principalmente los que se nombran en el análisis del artículo anterior y, además, menciona la Red Bayesiana que pertenece al grupo de aprendizaje supervisado. Y en el grupo de aprendizaje no supervisado las metodologías, la red de codificador automático y la agrupación de K-medias, de las cuales el autor realiza una breve descripción de su significado.

| Método ML | Aplicación |
|-----------|---------------------------------------|
| ANN | Mapeo de respectividad mineral (MPM). |
| | Mapeo de suelos |

| | |
|--|---|
| | Extracción de anomalías geoquímicas relacionadas con la mineralización |
| DT y ANN | Reconocimiento de patrones de distribución geoquímica de LREE |
| Máquina de Boltzmann restringida continua | Identificación de anomalías geoquímicas multivariadas |
| NM supervisado | Separación de las anomalías geoquímicas relacionadas con el pórfido Cu |
| Red autocodificadora profunda | Integración de elementos múltiples asociados con la mineralización |
| RF | Clasificación de litología Identificación de composiciones de gahnita como una guía de exploración de los depósitos de Pb-Zn-Ag tipo Broken Hill |
| SVM | Identificación de anomalías geoquímicas multivariadas a partir de datos de estudios de sedimentos de arroyos |
| SVM y SVM robusto de mínimos cuadrados | Mapeo de concentraciones de arsénico usando la distribución de concentración de oro presente dentro de los sedimentos en Alaska |
| Bosques de Regresión Cuantílica | Mapeo de la geoquímica regional del suelo en el suroeste de Inglaterra utilizando geofísica, altura y detección remota, y los mapas resultantes son más útiles que sus equivalentes univariantes interpolados espacialmente, proporcionando mayor detalle, precisión e interpretación |

Tabla 5. Relación de métodos ML y su aplicación en Geociencias.

Fuente: Zuo

La identificación de anomalías en el campo de la geoquímica ha generado la aplicación de métodos de análisis para reducir los datos multi-dimensionales. Se han generado métodos clásicos como el de análisis de componentes principales (PCA) y el análisis de factores (AF); para varios componentes o factores e identificar anomalías multivariantes para mapear anomalías geoquímicas o unidades geológicas.

Una de las ventajas de efectuar un análisis de componentes principales (PCA) es la proporción de una estructura clara de componentes de datos y en cada uno de ellos, permitir

la identificación de anomalías relacionadas con la mineralización/contaminaciones y unidades geológicas específicas; Según Clemens et al, los métodos clásicos como el PCA asumen que los datos satisfacen una distribución de probabilidad multivariada conocida y los algunos datos geoquímicos como los elementos traza, presentan una distribución de frecuencia compleja, lo que genera una incertidumbre al aplicar métodos como el PCA, además este método es sensible a valores atípicos (Clemens et al., 2008).

Ahora bien, existen métodos de aplicación multivariable como el Machine Learning (ML); éstos frente a los métodos clásicos como el PCA poseen grandes ventajas puesto que tienen el potencial de modelar sistemas complejos no lineales, por lo cual, permiten efectuar modelaciones de distribuciones geoquímicas multivariadas que capturan eventos geológicos complejos y de varias etapas.

Es importante tener en cuenta que modelos como el ML involucran un sistema matemático complejo y programas que no son de fácil manejo, por lo que limita el uso y acceso a profesionales de la rama de las Geociencias; puesto quien los maneje debe tener un conocimiento amplio del campo matemático y de computación.

Por lo anterior, es necesario que se continúen desarrollando programas que apliquen el método de ML en el aprendizaje automático y que permita desarrollar soluciones a problemas geológicos y geoquímicos complejos, y de esta forma, contribuir con la detección y la proporción de datos para analizar anomalías geológicas y geoquímicas.

Big Data.

Según Guo et al, las tecnologías de observación de la tierra han aportado gran cantidad de información a los estudios sobre el cambio climático a nivel mundial en las últimas décadas, proporcionando datos como parámetros biológicos, físicos y químicos, estos datos de observación de la tierra tienen una serie de características que los convierte en una herramienta indispensable para el estudio del cambio climático (Guo et al., 2015).

Tal como refiere Guo et al., “*Earth observation big data for climate change research*” en los últimos años se han desarrollado sistemas de observación de la Tierra tridimensionales para el monitoreo de cambios terrestres, oceánicos y atmosféricos además de la captura de información en casi todos los rangos del espectro electromagnético. Con todo lo anterior, las técnicas de observación de la tierra aplicadas al estudio del cambio climático se enfrentan al siguiente desafío como lo menciona H. D. Guo et al. “recopilar, caracterizar y analizar una gran cantidad de datos, teniendo en cuenta los datos de múltiples fuentes, múltiples variables y múltiples escalas con los diferentes atributos espaciales y temporales. Además, los microdatos de observación de la Tierra enfrentan los desafíos de construir y analizar cuantitativamente procesos complejos de Geociencias y sistemas espacio-temporales que expresan procesos socioeconómicos” (Guo et al., 2015). De acuerdo con lo anterior el Big Data da respuesta a cada uno de los aspectos mencionados. Además, Guo et al., menciona que el uso de Big Data ha permitido el avance en los estudios de cambio climático, (Guo et al., 2015) describe experimentos de observación sincrónica satélite-aire-tierra, donde utiliza varias plataformas de observación de la Tierra

lo que permite obtener información en tiempo real, hacer seguimiento dinámico de la tierra, los océanos y la atmosfera , además de obtener información a gran escala, completa, precisa y diversa de la superficie terrestre. Este tipo de observaciones de múltiples fuentes proporciona datos estables y de largos periodos de tiempo, muy útiles para la investigación científica. La implementación de Big Data en los experimentos de observación sincrónica multiplataforma, multibanda y multiescala han permitido la exploración de nuevas teorías, tecnologías y métodos para estudios de cambio climático además del desarrollo de plataformas de simulación para el clima regional. Varios son los factores de observación de la Tierra sensibles que pueden ser estudiados con el uso de Big Data para el cambio global como glaciares, lagos, vegetación, radiación, afectos de urbanización y sus efectos sobre la temperatura del aire de la superficie terrestre.

Sin embargo, aún se presentan algunos desafíos como la continuidad de los datos, la incertidumbre de los datos, la falta de optimización de los datos provenientes de diferentes fuentes, la restricción de los datos por algunas organizaciones, son algunos de los factores que han impedido el desarrollo de estudios con macrodatos para la observación de la Tierra.

Por otra parte, Boulton describe los principales desafíos del Big Data Earth, entendiendo este término como el uso de los macrodatos fusionados con la visión de Tierra digital, en cuanto al tema de la contaminación ambiental, este documento aborda el uso del Big Data Earth y la integración de las poblaciones humanas y sus efectos, para crear una ciencia de la tierra que aporte a la sostenibilidad planetaria, es decir vincular las acciones que el hombre realiza como la tala de bosques, la construcción de ciudades, la creación de monocultivos,

la contaminación del agua, entre muchas otras que implican cambiar el funcionamiento dinámico del planeta (Boulton, 2018)..

El último artículo seleccionado y que se incluyó dentro de la clasificación como grandes áreas “The Changing Paradigm of Air Pollution Monitoring” de Snyder et al., aborda un tema de gran importancia como es el paradigma de monitoreo de contaminación del aire. El incremento de enfermedades en la población relacionadas con la contaminación del aire viene en aumento, por lo que es importante obtener información detallada de las causas que generan estas enfermedades procurando una necesidad de obtener datos de alta precisión; el manejo de estos datos, la recopilación y el acceso a ellos se ha mejorado sustancialmente con la modernización de sensores remotos que brindan información en tiempo real.

Snyder et al., expresa que a pesar de existir sensores de bajo costo, es importante tener en cuenta la calidad de los datos que estos emiten y la obtención de información relevante y significativa para el control de la contaminación ambiental. En la actualidad, el monitoreo de la calidad de aire se mejora significativamente por los avances de ingeniería que incluyen, técnicas de micro fabricación, sistemas micro electromecánicos, consumos de energía bajos y potencia informativa avanzada para el mantenimiento de bases de datos. Además, la disponibilidad de redes inalámbricas que facilita la comunicación en redes de sensores dispersos y los servicios web que permiten el acceso a información en tiempo real en espectros multiusuarios son características de la tecnología que facilitan el manejo de sensores. Esto permite que se impulse el desarrollo de sensores pequeños, un menor costo de producción y producción en masa.(Snyder et al., 2013)

La tecnología de los sensores disponibles en el mercado cumple con los Estándares Nacionales de Calidad de Aire Ambiental (NAAQS)(Air Topics | Environmental Topics | US EPA, n.d.), sin embargo, existen algunos objetivos de monitoreo de calidad de aire que aún no se cumplen pero que con el desarrollo de nuevas tecnologías se espera que se pueda lograr en el futuro cercano.

Los sensores de contaminación del aire de bajo costo y fáciles de usar, brindan a los ciudadanos y comunidades oportunidades para monitorear la calidad del aire local que puede afectar directamente su vida diaria. Estar informados permite que las comunidades sean mucho más conscientes, educados e informados. Con el desarrollo de la tecnología y el acceso a internet mediante ordenadores y celulares permiten que exista monitoreo participativo, esto ha incrementado la disposición y generación de redes de monitoreo de más bajo costo, pero con más acceso a la población.(Explorar - EBird, n.d.), (Citizen Science Platform for Wildlife | Project Noah, n.d.)

Los sensores de calidad de aire acompañados e integrados con otro tipo de tecnologías (sensores fisiológicos y ubicación (GPS) (Brook, Shin, Bard, Burnett, Vette, Croghan, & Williams, 2011; Brook, Shin, Bard, Burnett, Vette, Croghan, Thornburg, et al., 2011) son el complemento perfecto para revisar y analizar indicadores ambientales y de exposición de la salud de la población.

Para finalizar se presentan algunas iniciativas que combinan la ciencia ciudadana con el acceso a los dispositivos de bajo costo para el monitoreo de la calidad el aire:

- CITI-SENSE: El Portal Web Central de Observatorios Ciudadanos de CITI-SENSE está diseñado para permitir a los ciudadanos acceder no solo a información

ambiental en tiempo real proporcionada por una gran cantidad de sensores y plataformas de sensores (incluidos sensores portátiles y estáticos, aplicaciones móviles y diferentes tipos de encuestas de percepción de la contaminación IR), sino también para proporcionar un foro para la discusión, el debate y el intercambio de sus propias observaciones personales. Ofrecen los siguientes servicios

- Portal Web de observatorios ciudadanos
- Sensores y plataformas de sensores
- Plataformas de servidores de datos (incluyendo ateknea, atmos, civicflow, envirologger, oboe, sensapp y servidor de datos seds)
- Caja de herramientas de los observatorios de ciudadanos de citi-sense
- Air Quality Egg(*Air Quality Egg - Science Is Collaboration*, n.d.): Una herramienta de aprendizaje integrada, versátil y divertida con hardware de código abierto, una aplicación web y móvil sólida y un plan de estudios de Estándares de Ciencias de la Próxima Generación, consiste de los siguientes componentes:
 - El dispositivo: El Egg es un dispositivo habilitado para WiFi que usa sensores para registrar cambios en los niveles de contaminantes del aire específicos. Cada huevo puede detectar al menos un contaminante del aire: NO₂, CO₂, CO, O₃, SO₂, partículas y compuestos orgánicos volátiles (VOC). Realiza un seguimiento de cualquier cambio y carga automáticamente los datos en la nube, donde se puede acceder a ellos a través de nuestro portal web, aplicación móvil o mediante descarga manual conectando el Egg a una computadora.

- Además de servicios de capacitación y orientación para el uso de estas herramientas.
- La aplicación: Permite leer y compartir los datos de calidad del aire local que recopila en tiempo real. También es donde puede buscar y utilizar datos de todos los demás huecos de todo el mundo y crear laboratorios utilizando todos los datos. Con una sola indicación es posible ver y graficar datos fácilmente, analizar y comparar datos, así como compartir laboratorios con otras aulas y escuelas.

Geociencias para áreas pequeñas o puntuales

Dentro de los documentos analizados, se eligieron un total de cuatro artículos que, por el tipo de herramienta o técnica utilizada, cubren áreas muy pequeñas, como el uso de drones o biosensores. En la Tabla 6 se relacionan los artículos seleccionados, el tema principal, autor y año de publicación. Después se describe brevemente el desarrollo de la herramienta y su contribución con el cuidado y la preservación del medio ambiente.

| No | TÍTULO | TEMA | AUTOR | AÑO DE PUBLICACIÓN |
|----|--|--|--|--------------------|
| 1 | Wastewater monitoring by means of e-nose, VE-tongue, TD-GC-MS, and SPME-GC-MS (Moufid et al., 2021) | Nariz electrónica y Lengua VE, para el monitoreo de aguas residuales | Mohammed Moufid Michael Hofmann NezhaEl Bari Carlo Tiebe Matthias Bartholmai BenachirBouchikhia | 2021 |
| 2 | An ultra-sensitive aptasensor on optical fibre for the direct detection of bisphenol-A (Allsop et al., 2019) | Biosensor para la detección de bisfenol A | Thomas D.P.Allsop Ronald Neal Changle Wang David A.Nagel Anna V.Hine Philip Culverhouse | 2019 |

| | | | | |
|---|---|--|--|------|
| | | | Juan D. Ania Castañón David J. Webb Simona Scarano Maria Minunni | |
| 3 | A UAV-Mounted Whole Cell Biosensor System for Environmental Monitoring Applications (Lu et al., 2015) | Biosensor sobre UAV para aplicaciones de monitoreo ambiental | Yi Lu Dominique Macias Zachary S. Dean Nicole R. Kreger Pak Kin Wong | 2015 |
| 4 | A Deep Learning Model for Automatic Plastic Mapping Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Data (Jakovljevic et al., 2020) | Un modelo de aprendizaje profundo para mapeo automático de plástico utilizando datos de vehículos aéreos no tripulados (UAV) | Gordana Jakovljevic Miro Govedarica Flor Alvarez-Taboada | 2020 |

Tabla 6. Artículos seleccionados en el estudio, así como los temas que tratan y el año de publicación para áreas pequeñas o puntuales.

El incremento de compuestos contaminantes en la elaboración de diversos productos que se comercializan ha conllevado a que se desarrollen investigaciones, pruebas y análisis del impacto que traen al medio ambiente y población en general.

Para determinar el impacto y efectos secundarios de los contaminantes, se hace uso de biosensores en su preferencia de operación remota para evitar la exposición a compuestos posiblemente perjudiciales para la salud humana.

Los biosensores son dispositivos que están compuestos por un bioreceptor y un transductor, el primero corresponde a la molécula que permite percibir la información o componente a sensor tales como las enzimas, anticuerpos, ADN, células, entre otros; el transductor es aquel componente que transforma la energía recibida del bioreceptor en energía y/o datos que puedan ser analizados; éstos son de tipo electroquímico, piezoeléctrico, calorimétrico u ópticos.

Los biosensores se pueden clasificar según el tipo de transductor como ópticos (de resonancia, plasmon, superficie o fibra óptica), electroquímicos (amperométricos y de impedancia) y piezoeléctricos (de micro balanzas y cristal de cuarzo) o según el elemento de reconocimiento como inmunosensores, aptasensores, genosensores y biosensores enzimáticos, cuando se utilizan anticuerpos, aptámeros, ácidos nucleicos y enzimas, respectivamente. En aplicaciones de monitoreo ambiental se usan mayormente los inmunosensores y los biosensores enzimáticos, pero en la actualidad se han utilizado de manera exitosa los aptasensores, ya que ofrecen ventajas como la facilidad de modificación, estabilidad térmica, posibilidad de diseño, entre otras. (Justino et al., 2015).

Los biosensores modernos se basan en tecnologías de micro y nanoescala, que mejoran características como costos, tiempo de detección, sensibilidad y mantenimiento para detectar posibles factores de riesgo, realizar análisis en tiempo real y mejorar la precisión de los datos para un mejor análisis.

A continuación, se analizan ejemplos del uso de biosensores para la detección de contaminantes que afectan el medio ambiente, la vida silvestre o la vida humana:

Uno de los artículos más recientes de Moufid et al “*Wastewater monitoring by means of e-nose, VE-tongue, TD-GC-MS, and SPME-GC-MS*” (Moufid et al., 2021), donde se aborda el tema de la contaminación del aire y de las aguas residuales y se lleva a cabo la construcción de una nariz electrónica (E-nose) y una lengua electrónica voltamétrica (VE-tongue) y junto con métodos de reconocimiento de patrones, que permiten la caracterización y discriminación de muestras de agua y aguas residuales, adicionalmente se utilizaron técnicas analíticas como los métodos TD-GC-MS (Moufid et al., 2021) y SPME-

GC-MS (Moufid et al., 2021) para determinar los compuestos de las muestras de agua y aguas residuales, con la finalidad de determinar remotamente si las muestras ambientales se encuentran contaminadas o limpias y así mismo, poder frenar dichos elementos para que las comunidades cercanas no presenten afectaciones y no puedan contraer enfermedades producidas por estos factores.

El sistema e-nose consta de tres partes principales: sección de muestreo usada para la recolección de aire oloroso, cámara del sensor compuesta por sensores de gas de óxido metálico de respuesta rápida y unidad de adquisición de los datos. El sistema VE-tongue consta de seis electrodos de trabajo, un contraelectrodo y un electrodo adicional. Las muestras líquidas, en este caso, se recolectan con el sistema VE-tongue y las muestras gaseosas son bombeadas al sensor E-nose, para obtener una respuesta del sensor como pulso dinámico, que posteriormente son analizadas mediante diferentes métodos de reconocimiento de patrones LM, tales como análisis de componentes principales (PCA), el análisis de conglomerados jerárquicos (HCA), y las máquinas de vectores de apoyo (SVM). Cada uno de los métodos nombrados anteriormente, ofrecen beneficios para la simplificación de datos. El PCA consiste en reducir la dimensionalidad del conjunto de datos, en datos más reducidos y centrados. El HCA es una técnica no lineal y no supervisada, que usa características similares y de proximidad para asociar brevemente puntos de datos. Por último, las SVM son técnicas supervisadas que se pueden utilizar con problemas de clasificación binaria lineales y no lineales. Siendo estos tres patrones necesarios para probar la capacidad y efectividad de los sistemas E-nose y VE-tongue para discriminar el aire oloroso y muestras líquidas de agua y aguas residuales.

Finalmente, mediante la técnica TD-GC-MS, que permite la identificación de compuestos en estas muestras de aire oloroso, con las cuales se puede afirmar que el análisis de muestras de aire oloroso cerca de sitios no es adecuado para obtener una buena caracterización de muestras de agua y aguas residuales. A diferencia del caso de las muestras líquidas tomadas mediante el sistema VE-tongue, fueron analizados con la técnica SPME-GC-MS, encontrando una clara discriminación entre las aguas residuales y las muestras de agua, que son de gran ayuda para su reconocimiento en sitio y posterior tratamiento dependiendo los componentes que presenten en cada una de éstas. Los resultados obtenidos son muy satisfactorios en cuanto a identificación y discriminación de matrices ambientales, sugiriendo su viabilidad para otras aplicaciones ambientales (Moufid et al., 2021).

En Allsop et al., *“An ultra-sensitive aptasensor on optical fibre for the direct detection of bisphenol A”*, los autores presentan el desarrollo y resultado de un aptasensor óptico basado en afinidad, compuesto principalmente por antenas nanoestructuradas de oro correspondientes a secciones de fibra óptica solapadas y pulidas, que realizan detección plasmónica de biosfenol A (BPA), en concentraciones ultrabajas (Allsop et al., 2019). Dicho sensor es de importancia para el medio ambiente y seres humanos, ya que permite detectar, entre otros muchos compuestos, el biosfenol A, el cual se clasifica como un Compuesto Disruptor Endocrino (EDC), que se usa comúnmente en la fabricación de ciertos plásticos y resinas, integrados en recipientes de alimentos, bebidas, botellas de agua y hasta en bienes de consumo, que pueden traer consecuencias negativas en la salud de las

personas, ya que pueden filtrarse a los alimentos. Adicionalmente, pruebas realizadas muestran que la vida silvestre puede verse afectada (Segner et al., 2003), presentando trastornos reproductivos (Vandenberg et al., 2007), enfermedades crónicas y varios tipos de modelo de cáncer (Huo et al., 2015).

Posterior al desarrollo de modelo de sensor, se realizaron una serie de 12 experimentos a diferentes concentraciones de soluciones de bisfenol A , 1 fM, 100 fM, 100 pM y 1 μ M, que arrojan como resultado:

- El esquema de interrogación de la longitud de onda con una solución de bisfenol 1 fM produce un desplazamiento de la longitud de onda de $0,15 \text{ nm} \pm 0,01 \text{ nm}$.
- El uso de una regresión lineal produce un límite de detección de una concentración de solución de 330 aM, con un error de longitud de onda intrínseco dentro de la señal es de $\pm 0.01 \text{ nm}$.

A partir de dichos experimentos, la desviación estándar de repetibilidad combinada estimada es de $\pm 80 \text{ aM}$ entre sensores y la intrarreplicabilidad dentro de todos los experimentos para un sensor arrojó una variación de $\pm 44 \text{ aM}$ entre los Límites de Detección de Medios LOD en el rango de concentración attomolar estimados. (Allsop et al., 2019), lo que resulta ser la resolución medida más alta jamás obtenida para el bisfenol A. Los resultados obtenidos de las mediciones realizadas usando la nueva plataforma de detección de plasmones de superficie localizada, combinadas con el aptámero de reconocimiento molécula, ofrecen un nuevo paradigma para la detección para moléculas pequeñas y permiten realizar pruebas portátiles que brindan resultados similares a los que se llevan a cabo en el laboratorio (Allsop et al., 2019).

En Lu et al., “*A UAV-Mounted Whole Cell Biosensor System for Environmental Monitoring Applications*” se presenta el desarrollo de un biosensor portátil de células completas usado para el monitoreo de calidad del aire (Bohrn et al., 2011), monitoreo de calidad del agua (Kubisch et al., 2012), y medición de fugas de radiación, siendo de gran utilidad para la medición en sitios que sean de difícil acceso y previniendo la exposición del ser humano a compuestos que puedan afectar su salud (Rodriguez-Mozaz et al., 2004).

Dicho sensor está compuesto por una carcasa metálica muy liviana que permite ser transportada fácilmente por el vehículo aéreo no tripulado y que contiene la incubadora portátil para la inoculación celular.

La estructura de la carcasa mecánica es realizada con ácido poliláctico (PLA), un poliéster alifático termoplástico ligero y biodegradable, que permite que sea de menor peso. Dicho armazón contiene en su interior un sistema de regulación de temperatura construido con un microcontrolador arduino, dos sensores de temperatura LM35 y un termofoil de poliamida de bajo voltaje para calefacción, adicionalmente es necesaria la fabricación de microcanales para la inoculación bacteriana, este sistema está diseñado para que pueda montarse en un quadcopter u otros vehículos aéreos no tripulados (UAV) para aplicaciones de teledetección, al tiempo que proporciona un entorno apropiado para el crecimiento bacteriano. Para evaluar el rendimiento del sistema, se mide la viabilidad de la bacteria *E. coli* en el sistema biosensor de células completas y se compara con técnicas estándar de cultivo bacteriano. Este diseño puede abrir nuevas oportunidades en el desarrollo de estrategias novedosas para el monitoreo ambiental.

Posterior al desarrollo del sensor, se realizaron pruebas individuales de cada componente para realizar su respectiva calibración y así garantizar un funcionamiento correcto en las pruebas en sitio, en donde se valida que el sensor pueda ser desplazado por un largo tiempo por el vehículo aéreo no tripulado. Así mismo, se realiza cultivo de bacterias en diferentes condiciones ambientales, uno de los casos puntuales se llevó a cabo cultivando *E. coli* tanto en el sensor como en un matraz tradicional, para comparar su desarrollo, arrojando inicialmente una tasa de crecimiento similar en las dos condiciones, pero de después de dos horas se observa un crecimiento de células completas 20% mayor en la incubadora (sensor) que en el agitador orbital.

De acuerdo con las pruebas y análisis microscópicos, se concluye que el sensor funcionó correctamente para la *E. coli* y puede ser movilizado a lugares remotos, brindando un gran beneficio al poder realizar las pruebas en sitio, manteniendo las condiciones de temperatura adecuadas para el crecimiento de las bacterias. Finalmente, se muestra la viabilidad del despliegue y se comprueba que es un sensor rápido, fiable, sensible y rentable para el monitoreo y control de la toxicidad del gas, la calidad del aire y la contaminación del agua (Lu et al., 2015).

En el último ejemplo por Jakovljevic et al “A Deep Learning Model for Automatic Plastic Mapping Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Data” analiza el procedimiento para determinar la capacidad de los algoritmos de aprendizaje profundo para la identificación automática de plástico flotante mediante ortofotos realizadas con UAV, y así mismo, probar la posibilidad de diferenciar los tipos de plástico como el poliestireno orientado (OPS), el tereftalato de polietileno (PET) y el nailon, e indagar la relación entre la resolución espacial

y el tamaño plástico detectable, con el fin de definir una metodología para estudios de UAV para mapear plástico flotante. Para su calibración y validación se utilizaron dos áreas de estudio y tres conjuntos de datos para entrenar y validar los modelos. (Jakovljevic et al., 2020)

Para el desarrollo del trabajo se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- **Pre procesamiento:** Se hace uso de imágenes adquiridas y el algoritmo Structure from Motion (SfM)(Govedarica et al., 2018), para contar con una ortofoto de alta resolución antes de la búsqueda de plástico, para poder comparar y determinar si hay existencias.
- **Clasificación:** Para la clasificación los autores proponen un modelo de segmentación semántica de extremo a extremo para una segmentación plástica flotante basada en la arquitectura U-net(Ronneberger et al., 2015), la cual es una arquitectura muy utilizada en la segmentación semántica de imágenes de teledetección (Zhao et al., 2019),(Yi et al., 2019), que se basa en una arquitectura de codificador-decodificador simétrico. El lado del codificador extrae y abstrae de manera efectiva la información de píxeles de la imagen, mientras que el decodificador apunta a extraer el plástico de los mapas de características.
- **Evaluación de la precisión:** Para probar la precisión de los resultados de la clasificación, se calcularon tres parámetros estándar: precisión, recuperación y puntuación F, en donde se busca que la precisión y la recuperación son iguales a 1.
- **Implementación:** Para la implementación, se tomaron imágenes originales que se descompusieron en parches de 256*256 píxeles. Los seis modelos diferentes se

entrenaron con tres tipos de datos diferentes, en donde se usaron los datos tomados en un 80% para entrenamiento y 20 % validación, en donde se tomó como función de perdida la entropía cruzada. Los modelos se implementaron en el lenguaje de programación Python 3 mediante el uso de bibliotecas de inteligencia artificial como PyTorch, TensorFlow, Keras y Matplotlib.

Posterior a su implementación, se procedió con las pruebas en diferentes escenarios en donde se probaron los algoritmos y se concluye que el ResUNet50 (Yi et al., 2019), proporcionó la mayor precisión para mapear diferentes materiales plásticos, seguido por los modelos ResUNet50 (Xie et al., 2017) y XceptionUNet(Chollet, 2017), que sobreestimaron el plástico flotante debido a una clasificación errónea de los píxeles de agua. El modelo elegido ResUNet50 mostró capacidad de detección de plástico en agua, aguas poco profundas y también en tierra, con menor precisión en comparación con los plásticos flotantes. Dicho modelo, contribuye facilitando el monitoreo de la contaminación plástica de manera efectiva y permite ser usado para optimizar las campañas de limpieza, así como la integración y comparación de las estimaciones.

Para concluir, buscando una mayor efectividad en el modelo de detección ofrecida en este artículo, se debe tener en cuenta que la resolución espacial de la imagen y la precisión del modelo están directamente relacionadas, que los dos UAV para la recopilación de imágenes deben contar con el mismo patrón de vuelo, uno para recopilar las imágenes y que vuele más bajo para obtener una mejor resolución espacial y generar un conjunto de datos de entrenamiento preciso, al igual que volar con tiempo nublado para reducir el efecto de la

luz solar, y la velocidad del viento debe ser lo más baja posible, para que la calidad de la ortofoto no se vea comprometida.

Como se puede observar con el análisis de estos ejemplos en el uso de biosensores, son muchos los elementos contaminantes que se pueden detectar con este tipo de tecnología, pero se observa un gran interés por la identificación de un elemento muy contaminante en nuestros días como lo es el plástico, en sus diversas presentaciones y materiales. Lo cual permite observar un gran interés por parte de la comunidad científica en el desarrollo de nuevas técnicas y herramientas en problemáticas ambientales que aun no cuentan con una solución eficaz.

Conclusiones

- Se seleccionaron un total de 14 artículos, los cuales se consultaron y analizaron, permitiendo conocer las técnicas y herramientas más nuevas y que más contribuyen con el cuidado y preservación del medio ambiente.
- Se logró una metodología de búsqueda que permitió la selección de información en aplicaciones relacionadas con la contaminación ambiental y las Geociencias.
- Fue posible realizar una clasificación de los documentos en dos temáticas principales, lo cual permitió una mejor identificación de los estudios realizados, las aplicaciones más avanzadas y las técnicas que aún se encuentran en etapas de desarrollo.
- Mediante el empleo de sensores de bajo costo, el monitoreo de la contaminación ambiental podría estar en futuro cercano en manos de todos y ello transformará la forma en que entendemos e interpretamos la contaminación.
- Con la aparición de nuevas tecnologías y su aplicación a estudios medioambientales como los aptasensores, los detectores de células y de otros elementos biológicos, químicos y físico, se abre un nuevo horizonte que sin dudas permitirá afrontar el tema de la contaminación de manera totalmente diferente, propiciando una lucha más eficaz para garantizar una mejor protección y cuidado de nuestro planeta.

- Al realizar un análisis de la literatura encontrada, no se evidenciaron artículos que contengan una revisión completa de las aplicaciones y herramientas en el campo de las Geociencias (GIS y teledetección) enfocadas a la identificación, monitoreo y seguimiento de la contaminación ambiental en los últimos 5 años.
- De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, se identificaron grandes avances en el desarrollo de métodos, aplicaciones y herramientas en el campo de las geociencias, enfocados al cuidado y preservación del medio ambiente; algunos de ellos como el GSW con grandes desarrollos, pero aun en evolución, y otros que aún enfrentan grandes desafíos y que se encuentran en etapa inicial, como la integración de los datos sociales (ciencia ciudadana), la integración de la tecnología IoT (Internet de las cosas) con la minería de Big Data, la Inteligencia Artificial, los biosensores en el áreas de la Geociencias,
- Con la presente revisión bibliográfica de puede concluir un avance en el uso de dos herramientas, los Sistemas e Información Geográfica SIG están evolucionado a Infraestructura de Datos Espaciales (IDEs) en línea y en tiempo real, y la teledetección enfocada en nuevas formas de captura de elementos contaminantes en la naturaleza como el uso de biosensores.

Bibliografía

- Air Quality Egg - Science is Collaboration*. (n.d.). Retrieved September 1, 2020, from <https://airqualityegg.com/egg>
- Air Topics / Environmental Topics / US EPA*. (n.d.). Retrieved August 31, 2020, from <https://www.epa.gov/environmental-topics/air-topics>
- Allsop, T. D. P., Neal, R., Wang, C., Nagel, D. A., Hine, A. V., Culverhouse, P., Ania Castañón, J. D., Webb, D. J., Scarano, S., & Minunni, M. (2019). An ultra-sensitive aptasensor on optical fibre for the direct detection of bisphenol A. *Biosensors and Bioelectronics*, 135, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.02.043>
- Bohrn, U., Stütz, E., Fuchs, K., Fleischer, M., Schöning, M. J., & Wagner, P. (2011). Air quality monitoring using a whole-cell based sensor system. *Procedia Engineering*, 25, 1421–1424. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.12.351>
- Boulton, G. (2018). The challenges of a Big Data Earth. *Big Earth Data*, 2(1), 1–7. <https://doi.org/10.1080/20964471.2017.1397411>
- Brook, R. D., Shin, H. H., Bard, R. L., Burnett, R. T., Vette, A., Croghan, C., Thornburg, J., Rodes, C., & Williams, R. (2011). Exploration of the rapid effects of personal fine particulate matter exposure on arterial hemodynamics and vascular function during the same day. *Environmental Health Perspectives*, 119(5), 688–694. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002107>
- Brook, R. D., Shin, H. H., Bard, R. L., Burnett, R. T., Vette, A., Croghan, C., & Williams, R. (2011). Can Personal Exposures to Higher Nighttime and Early-Morning Temperatures Increase Blood Pressure? *The Journal of Clinical Hypertension*, 13(12),

881–888. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7176.2011.00545.x>

Bröring, A., Jürrens, E. H., Jirka, S., & Stasch, C. (2009). *Development of Sensor Web Applications with Open Source Software*. University of Nottingham.
<http://deegree.sourceforge.net/>

Chen, L. (2003). A study of applying genetic programming to reservoir trophic state evaluation using remote sensor data. *International Journal of Remote Sensing*, 24(11), 2265–2275. <https://doi.org/10.1080/01431160210154966>

Chen, N., Yang, X., & Wang, X. (2013). Design and implementation of geospatial sensor web information public service platform. *J Geo-Information Sci*, 15(6), 887–894.

Chen, Z., Chen, N., Di, L., & Gong, J. (2011). A flexible data and sensor planning service for virtual sensors based on web service. *IEEE Sensors Journal*, 11(6), 1429–1439.
<https://doi.org/10.1109/JSEN.2010.2095839>

Chollet, F. (2017). *Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions*.

Chu, X., Kobialka, T., Durnota, B., & Buyya, R. (2006). Open sensor web architecture: Core services. *Proceedings - 4th International Conference on Intelligent Sensing and Information Processing, ICISIP 2006*, 98–103.
<https://doi.org/10.1109/ICISIP.2006.4286069>

Citizen Science Platform for Wildlife | Project Noah. (n.d.). Retrieved August 31, 2020, from <https://www.projectnoah.org/>

Di, L., Moe, K., & Van Zyl, T. L. (2010). Earth observation sensor web: An overview. In *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* (Vol. 3, Issue 4 PART 1, pp. 415–417).

<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2010.2089575>

Explorar - eBird. (n.d.). Retrieved August 31, 2020, from <https://ebird.org/explore>

Fairgrieve, S. M., Makuch, J. A., & Falke, S. R. (2009). PULSENet™: An implementation of sensor web standards. *2009 International Symposium on Collaborative Technologies and Systems, CTS 2009*, 64–75.

<https://doi.org/10.1109/CTS.2009.5067463>

Gong, J., Geng, J., & Chen, Z. (2015). Real-time GIS data model and sensor web service platform for environmental data management. *International Journal of Health Geographics*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-14-2>

Govedarica, M., Jakovljevic, G., & Álvarez Taboada, F. (2018). Flood risk assessment based on LiDAR and UAV points clouds and DEM. In C. M. Neale & A. Maltese (Eds.), *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XX* (Vol. 10783, p. 102). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2513278>

Guo, H. D., Zhang, L., & Zhu, L. W. (2015). Earth observation big data for climate change research. *Advances in Climate Change Research*, 6(2), 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2015.09.007>

Havlik, D., Schimak, G., Denzer, R., & Stevenot, B. (2006). Introduction to SANY (Sensors Anywhere) Integrated Project. *Undefined*.

Howe, B. M., Chao, Y., Chao, Y., Arabshahi, P., McGinnis, T., Roy, S., & Gray, A. (2010). A Smart Sensor Web for Ocean Observation: Fixed and Mobile Platforms, Integrated Acoustics, Satellites and Predictive Modeling. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3(4), 507–521.

<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2010.2052022>

- Hu, L., Yue, P., Zhang, M., Gong, J., Jiang, L., & Zhang, X. (2015). Task-oriented Sensor Web data processing for environmental monitoring. *Earth Science Informatics*, 8(3), 511–525. <https://doi.org/10.1007/s12145-015-0235-1>
- Huo, X., Chen, D., He, Y., Zhu, W., Zhou, W., & Zhang, J. (2015). Bisphenol-a and female infertility: A possible role of gene-environment interactions. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 12, Issue 9, pp. 11101–11116). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph120911101>
- Jakovljevic, G., Govedarica, M., & Alvarez-Taboada, F. (2020). A deep learning model for automatic plastic mapping using unmanned aerial vehicle (UAV) data. *Remote Sensing*, 12(9), 1515. <https://doi.org/10.3390/RS12091515>
- Justino, C. I. L., Freitas, A. C., Pereira, R., Duarte, A. C., & Rocha Santos, T. A. P. (2015). Recent developments in recognition elements for chemical sensors and biosensors. In *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* (Vol. 68, pp. 2–17). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.03.006>
- Kubisch, R., Bohrn, U., Fleischer, M., & Stütz, E. (2012). Cell-Based Sensor System Using L6 Cells for Broad Band Continuous Pollutant Monitoring in Aquatic Environments. *Sensors*, 12(3), 3370–3393. <https://doi.org/10.3390/s120303370>
- Lacava, T., Brocca, L., Coviello, I., Faruolo, M., & Pergola, N. (2015). Integration of optical and passive microwave satellite data for flooded area detection and monitoring. In *Engineering Geology for Society and Territory - Volume 3: River Basins, Reservoir Sedimentation and Water Resources* (pp. 631–635). Springer International Publishing.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-09054-2_126

Lary, D. J., Alavi, A. H., Gandomi, A. H., & Walker, A. L. (2016). Machine learning in geosciences and remote sensing. *Geoscience Frontiers*, 7(1), 3–10.

<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.07.003>

Lewkowski, C., Porwal, A., & González-Álvarez, I. (2010). Genetic Programming Applied to Base-Metal Prospectivity Mapping in the Aravalli Province, India. In *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 12).

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010EGUGA..12..523L/abstract>

Liang, S. H. L., Croitoru, A., & Tao, C. V. (2005). A distributed geospatial infrastructure for Sensor Web. *Computers and Geosciences*, 31(2), 221–231.

<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.06.014>

Liang, S. H. L., & Huang, C. Y. (2013). GeoCENS: A geospatial cyberinfrastructure for the world-wide sensor web. *Sensors (Switzerland)*, 13(10), 13402–13424.

<https://doi.org/10.3390/s131013402>

Lu, Y., Macias, D., Dean, Z. S., Kreger, N. R., & Wong, P. K. (2015). A UAV-Mounted Whole Cell Biosensor System for Environmental Monitoring Applications. *IEEE Transactions on Nanobioscience*, 14(8), 811–817.

<https://doi.org/10.1109/TNB.2015.2478481>

Moufid, M., Hofmann, M., El Bari, N., Tiebe, C., Bartholmai, M., & Bouchikhi, B. (2021). Wastewater monitoring by means of e-nose, VE-tongue, TD-GC-MS, and SPME-GC-MS. *Talanta*, 221, 121450. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121450>

NASA Technical Reports Server (NTRS). (1999).

<https://ntrs.nasa.gov/citations/20100029469>

- Nativi, S., Mazzetti, P., & Geller, G. N. (2013). Environmental model access and interoperability: The GEO Model Web initiative. *Environmental Modelling and Software*, 39, 214–228. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.03.007>
- Resch, B., Mittlboeck, M., Girardin, F., & Britter, R. E. (2009). *Live Geography - Embedded Sensing for Standardised Urban Environmental Monitoring*. https://www.researchgate.net/publication/239615765_Live_Geography_-_Embedded_Sensing_for_Standardised_Urban_Environmental_Monitoring
- Rodriguez-Mozaz, S., Marco, M. P., Lopez De Alda, M. J., & Barceló, D. (2004). Biosensors for environmental applications: Future development trends. *Pure and Applied Chemistry*, 76(4), 723–752. <https://doi.org/10.1351/pac200476040723>
- Roman, D., Gao, X., & Berre, A. J. (2011). Demonstration: Sensapp an application development platform for OGC-based sensor services. *CEUR Workshop Proceedings*, 839, 107–110.
- Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9351, 234–241. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28
- Segner, H., Caroll, K., Fenske, M., Janssen, C. R., Maack, G., Pascoe, D., Schäfers, C., Vandenbergh, G. F., Watts, M., & Wenzel, A. (2003). Identification of endocrine-disrupting effects in aquatic vertebrates and invertebrates: Report from the European IDEA project. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 54(3), 302–314.

[https://doi.org/10.1016/S0147-6513\(02\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0147-6513(02)00039-8)

- Snyder, E. G., Watkins, T. H., Solomon, P. A., Thoma, E. D., Williams, R. W., Hagler, G. S. W., Shelow, D., Hindin, D. A., Kilaru, V. J., & Preuss, P. W. (2013). The changing paradigm of air pollution monitoring. *Environmental Science and Technology*, 47(20), 11369–11377. <https://doi.org/10.1021/es4022602>
- Vandenberg, L. N., Hauser, R., Marcus, M., Olea, N., & Welshons, W. V. (2007). Human exposure to bisphenol A (BPA). In *Reproductive Toxicology* (Vol. 24, Issue 2, pp. 139–177). <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2007.07.010>
- Xie, S., Girshick, R., Dollár, P., Tu, Z., & He, K. (2017). Aggregated residual transformations for deep neural networks. *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017, 2017-January*, 5987–5995. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.634>
- Yi, Y., Zhang, Z., Zhang, W., Zhang, C., Li, W., & Zhao, T. (2019). Semantic Segmentation of Urban Buildings from VHR Remote Sensing Imagery Using a Deep Convolutional Neural Network. *Remote Sensing*, 11(15), 1774. <https://doi.org/10.3390/rs11151774>
- Yue, P., Baumann, P., Bugbee, K., & Jiang, L. (2015). Towards intelligent GIServices. *Earth Science Informatics*, 8(3), 463–481. <https://doi.org/10.1007/s12145-015-0229-z>
- Yue, P., Gong, J., Di, L., Yuan, J., Sun, L., Sun, Z., & Wang, Q. (2010). GeoPW: Laying Blocks for the Geospatial Processing Web. *Transactions in GIS*, 14(6), 755–772. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2010.01232.x>
- Yue, P., Zhang, C., Zhang, M., & Jiang, L. (2014). Sensor Web event detection and

- geoprocessing over Big data. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 1401–1404. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2014.6946697>
- Yue, P., Zhang, M., & Tan, Z. (2015). A geoprocessing workflow system for environmental monitoring and integrated modelling. *Environmental Modelling and Software*, 69, 128–140. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.03.017>
- Zhang, X., Chen, N., Chen, Z., Wu, L., Li, X., Zhang, L., Di, L., Gong, J., & Li, D. (2018). Geospatial sensor web: A cyber-physical infrastructure for geoscience research and application. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 185, pp. 684–703). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.07.006>
- Zhao, Yuan, Song, Ding, Lin, Liang, & Zhang. (2019). Use of Unmanned Aerial Vehicle Imagery and Deep Learning UNet to Extract Rice Lodging. *Sensors*, 19(18), 3859. <https://doi.org/10.3390/s19183859>
- Zuo, R. (n.d.). *Machine Learning of Mineralization-Related Geochemical Anomalies: A Review of Potential Methods*. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9345-4>
- Zuo, R. (2017). Machine Learning of Mineralization-Related Geochemical Anomalies: A Review of Potential Methods. In *Natural Resources Research* (Vol. 26, Issue 4, pp. 457–464). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9345-4>